



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
GRADO EN GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN DEL
TERRITORIO



TRABAJO FIN DE GRADO

Director/a: Pablo Fernández de Arróyabe Hernáez

Curso 2018/2019

ESTUDIO Y REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA DE LAS
PROPIEDADES ELECTRICAS DE LA ATMÓSFERA EN EL
CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

A CARTOGRAPHIC APPROACH TO THE STUDY OF
ATMOSPHERIC ELECTROMAGNETIC PROPERTIES IN
THE CAMPUS OF THE UNIVERSITY OF CANTABRIA

Daniel Gómez Fernández

Diciembre 2018

ÍNDICE

1.INTRODUCCIÓN	2
1.1 FINES Y JUSTIFICACION.....	2
1.2 OBEJATIVOS DE ESTUDIO.....	3
2.MARCO TEÓRICO	4
2.1 HISTORIA DE LA ELECTRICIDAD	4
2.2 LA ELECTRICIDAD.....	8
2.3 EL MAGNETISMO	16
2.4 LOS EFECTOS BIOLÓGICOS DEL ELECTROMAGNETISMO	20
2.4.1 EL ELECTROMAGNETISMO COMO ELEMENTO ÚTIL PARA LA VIDA.....	20
2.4.2 EL ELECTROMAGNETISMO COMO RIESGO.....	22
3 DESARROLLO METODOLÓGICO	26
3.1 FUENTES DE DATOS Y METODOLOGÍA	26
4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	33
4.1 PRESENTACIÓN DE VALORES OUTDOORS	33
4.1.1 CAMPO ELÉCTRICO.....	33
4.1.2 CAMPOS MAGNÉTICOS	36
4.2 PRESENTACIÓN DE VALORES INDOORS	38
4.2.1 CAMPO ELÉCTRICO.....	38
4.2.2 CAMPO MAGNÉTICO	44
5.CONCLUSIONES	48
6.ÍNDICE DE FIGURAS	50
7.BIBLIOGRAFÍA.....	52
8.ANEXOS.....	55
8.1 DATOS METEOROLÓGICOS	55

1. INTRODUCCIÓN

1.1 FINES Y JUSTIFICACION

El presente trabajo se enmarca dentro del actual interés que tiene para el mundo científico en general y para la Unión Europea en particular el estudio del campo electromagnético atmosférico y sus impactos en la biología. Un buen ejemplo de ello es el desarrollo de la Acción COST 15211 Electronet, financiada actualmente por Bruselas, que agrupa en una red específica a más de un centenar de investigadores de diferentes nacionalidades y disciplinas científicas con este fin particular.

La ausencia de mediciones del campo eléctrico atmosférico representa un “gap” científico al que se debe dar respuesta y este trabajo representa una muy modesta aproximación al estudio de este tema.

El fin principal del desarrollo de este trabajo de fin de grado es demostrar la adquisición por parte del alumno de las competencias genéricas del Plan de estudios del Grado en Geografía Urbanismo y Ordenación del Territorio de la Universidad de Cantabria entre las que se incluyen las capacidades para transmitir los conocimientos de forma oral y escrita, para la abstracción y el establecimiento de relaciones entre la realidad observada, la información sobre la misma y los conocimientos teóricos, metodológicos e instrumentales de la formación académica recibida. De forma más específica, en este trabajo el autor pretende también mostrar el conocimiento de los fundamentos teóricos y técnicos de las técnicas de análisis espacial y de tratamiento y representación de información geográfica mediante la captura de datos empíricos, su organización, gestión y análisis con un fin determinado dentro de un campo científico altamente complejo.

Los resultados del aprendizaje a ser evaluados pasan por la capacidad del alumno para identificar, definir y analizar un tema propio del trabajo del geógrafo, expresar por escrito el trabajo realizado y exponer la sucesión de tareas desarrolladas y los resultados obtenidos.

Con este trabajo, se buscan diferentes objetivos, los cuales se pueden dividir en dos grupos. Las mediciones exteriores o “outdoors” pretenden estudiar la posible conexión existente entre el campo electromagnético y la Meteorología. Las mediciones interiores o “indoors” buscan identificar aquellas zonas con una mayor intensidad del campo

electromagnético, para comprobar si son naturales o debidas a la contaminación electromagnética. En ambas líneas de estudio, se diferencian la componente eléctrica y magnética, debida al carácter particular de cada una.

Tras realizar una descripción de los conceptos fundamentales y presentar ejemplos básicos de la relación entre el campo electromagnético y la biología, se ha desarrollado un trabajo específico de medición de ciertas zonas del campus de la Universidad de Cantabria con el fin de realizar la cartografía de estas y así identificar visualmente las zonas de mayor riesgo o que sobrepasen los varemos aconsejados.

La creación de mapas y gráficos, nos permite identificar zonas con alta intensidad electromagnética y valorar si son peligrosas para el ser humano y la biodiversidad de ese entorno, o por el contrario, se trata de puntos aislados, los cuales, deben tener una cierta vigilancia, pero sin necesidad de generar una alarma.

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Son abundantes los estudios que demuestran, que los campos eléctricos y magnéticos (si tienen una intensidad alta), pueden ser perjudiciales para el ser humano y para el medio ambiente en general. El electromagnetismo, es uno de las variables más importantes en el cambio climático, sin embargo, en la actualidad existen pocos estudios acerca de los efectos que puede provocar una variación dentro del campo electromagnético de la Tierra.

Con este trabajo, se pretende identificar aquellas zonas “peligrosas” dentro del Campus de la Universidad de Cantabria, debido a sus altos valores en la intensidad del campo electromagnético y valorar posibles acciones a realizar en un futuro. Para ello, se ha realizado un trabajo de campo (mediciones del campo eléctrico y magnético) dentro del Campus y del Edificio Interfacultativo, para obtener unos datos empíricos con los que poder elaborar un análisis de los valores en su dimensión espacial y en su relación con otras variables meteorológicas dado que los procesos biológicos y el cambio climático son dos materias que están muy relacionadas con el campo electromagnético.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 HISTORIA DE LA ELECTRICIDAD

La electricidad es un fenómeno que encontramos en la naturaleza y que puede afectar a los seres vivos. Es importante saber, que tanto el globo terrestre como la atmosfera son dos grandes depósitos de electricidad, los cuales están cargados de manera opuesta (cargas negativas y cargas positivas), lo que provoca que exista una constante interacción entre ellas. Para entender mejor este proceso es importante conocer sus antecedentes y como se ha llegado a descubrir la electrización de La Tierra.

La electricidad atmosférica es un fenómeno que ha intentado ser explicado desde los comienzos de la civilización. Estos primeros relatos son explicaciones mitológicas sobre la creación de los rayos (hurritas, sumerios, egipcios), en estos comienzos el rayo, el cual es una de las manifestaciones de la electricidad atmosférica más visible, tiene un carácter divino que se le adjudica a los dioses y a la furia de estos.

Hay que esperar hasta la antigua Grecia para encontrar las primeras explicaciones racionales. Sócrates hace un intento de explicar racionalmente el fenómeno de las tormentas, del cual dice: “las nubes, cuando llenas de mucha agua, se ven forzadas a moverse, tienden necesariamente hacia abajo, cargadas como están de lluvia; luego, precipitándose pesadamente las unas sobre las otras, revientan estrepitosamente” (Pelkowski, 2006). Pero es Aristóteles el primero en formular una teoría con cierta coherencia, la cual decía: ”Pues, al ser la exhalación de dos clases, como ya dijimos, una húmeda y otra seca, y al contener su combinación a ambas en potencia y condensarse en (forma de) nube, como se ha dicho antes, y al hacerse la condensación de nubes más densa hacia su límite extremo (...), entonces el calor desprendido se difunde hacia la región superior; pero toda aquella (parte de la) exhalación seca queda atrapada en el proceso de enfriamiento del aire se desprende al condensarse las nubes y, desplazándose y chocando con violencia contra las nubes circundantes, produce un impacto, cuyo ruido se llama trueno” (Pelkowski, 2006). Es curioso leer estos fragmentos, ya que en aquella época no existían los medios con los que contamos hoy en día, sin embargo, llegan a la conclusión de ciertos aspectos atmosféricos que pueden aproximarse en cierta manera, al funcionamiento que tenemos de este en la actualidad.

La siguiente etapa sería la edad Media, aunque este periodo no es muy interesante en lo que a teorías y avances en lo referente a electricidad atmosférica se refiere. Es un periodo en el que la religión tiene mucha influencia, esto provoca que a nivel científico se dé un paso atrás y se vuelva a los orígenes. Por ello todas las explicaciones que encontramos de esta época son de carácter mitológico.

A partir del s. XVII, es cuando la electricidad atmosférica vuelve a suscitar cierto interés en el mundo científico y empiezan a aparecer algunas teorías sobre la electricidad. Es en este siglo cuando aparece por primera vez el término “electricidad”, el cual se le atribuye a William Gilbert (1544-1603). Este médico en su obra *De Magnete* (1600) establece que La Tierra es comparable a un imán. Pero sería Otto von Guericke (1602-1684) quien años más tarde descubriera el fenómeno de atracción eléctrica por frotación de ciertos cuerpos (zafiro, ámbar, rubí) (Pelkowski, 2006).

En el s. XVIII, es cuando se realizan el mayor numero de avances y descubrimientos en el marco de la electricidad. Fue Stephan Gray (1666- 1736) en 1729, quien descubrió la conductividad eléctrica e incluso fue el primero en dividir los cuerpos en dos grupos: conductores y aislantes. Es en este periodo cuando se empiezan a elaborar la teoría de la electricidad.

En 1745, se crea el prototipo del condensador eléctrico, este hallazgo fue gracias a Jüngen von Kreist y Pieter van Musschenbroek, los cuales denominaron a su invento la botella de Leiden (lugar donde trabajaban) (Pelkowski, 2006). Este invento en un principio tiene utilidades medicinales, ya que en esta época se cree que la electricidad puede curar enfermedades. Estos avances en electricidad supusieron toda una revolución en Europa, lo que provocó que se realizaran diferentes experimentos tanto en público como en gabinetes científicos.

Esta revolución por la electricidad surgida en Europa llega a Norteamérica, gracias a una carta que envía en 1746 Peter Collinson a su amigo Benjamin Franklin. Franklin quedo tan sorprendido con aquellas noticias que le llegaban del viejo continente que decidió llevar a cabo alguno de los experimentos que le relató su amigo, lo cual le generó una autentica fascinación por la electricidad.

A partir de 1747, se realizan gran cantidad de experimentos que permiten descubrir cualidades fascinantes de la electricidad. En el caso de Benjamin Franklin concibe la electricidad como un fluido único e incluso cambia alguna de la terminología existente hasta ese momento (los términos “vitrioso” y “resinoso” los sustituye por positivo y negativo). alguna de las aportaciones de Franklin a la Meteorología fue la teoría de alisios en 1756 (anteriormente expuesta por Hadley y Emmanuel Kant) y la teoría de la lluvia, en la cual tiene un papel importante la electricidad (Pelkowski, 2006). Tras haber realizado una gran cantidad de experimentos y tras descubrir alguna de las características de la electricidad, Franklin decide ir a buscar esta a las propias nubes.

El experimento de Franklin consistía en colocar en la cima de una torre o campanario una garita en donde se pudiera albergar a una persona y en donde se encontraría lo que denominó taburete eléctrico (taburete de madera que servía de aislante), de este saldría una vara de hierro de unos 20 o treinta pies, la cual terminaría en una punta muy aguda, con este artilugio pretendía demostrar que el hombre situado en el taburete eléctrico (seco y limpio) quedaría electrizado en el momento en el que pasara las nubes electrizadas por encima de la vara.



Imagen 2.1: Experimento de Benjamín Franklin.

Fuente: Los albores de la electricidad atmosférica, Joaquin Pelkowski

En caso de ser necesario Franklin ideó un plan para evitar la electrocución de la persona situada en el taburete (Sciencies, 1999). Este experimento no fue llevado a cabo por Franklin, sin embargo su experimento había llegado a Inglaterra e incluso al conde Buffon, el cual solicitó una traducción de éste para llevarlo él mismo a cabo. En Junio de 1752 y cansado de la espera, Franklin decide llevar a cabo su experimento de

otra manera. En esta ocasión el experimento consistiría en elevar una cometa hasta las nubes, la idea era que si las nubes estaban electrificadas los filamentos de la cometa deberían conducir la electricidad de dichas nubes. Tras varios intentos fallidos, Franklin logra demostrar la electrización de la atmosfera, sin embargo el 10 de mayo de ese mismo año, el conde Buffon llevó a cabo el experimento de Franklin, por lo que el primero en demostrar la teoría de Franklin fue el conde Buffon. Es importante aclarar que este primer experimento con la vara no se trata del invento del pararrayos, sino de un simple captador de electricidad.

Antes de que llegaran los resultados publicados por Franklin a Europa, existieron otros experimentos que demostraron el carácter eléctrico de las nubes. Fue Romas, quien gracias a su fino alambre colocado a lo largo de 260 metros, pudo comprobar en 1753 esta característica de las nubes. Este experimento fue repetido por el propio de Romas en 1757 llegando a obtener unos resultados más claros del carácter eléctrico de las nubes. Tras los resultados obtenidos Franklin decidió seguir investigando sobre esta característica de las nubes, de las cuales saco varias teorías interesantes, como puede ser el hecho de que los relámpagos se forman principalmente en aquellas nubes con carga negativa.

A Benjamin Franklin se le puede considerar el padre de la electricidad atmosférica y uno de los grandes investigadores sobre este tema. Estos comienzos de la electricidad atmosférica fueron muy dinámicos y entre los s. XVIII y XIX se consiguieron grandes avances sobre este tema. Habría que avanzar hasta 1795 para que Coulomb (uno de los padres de la electricidad) formulara su teoría, en la cual estableciera que el aire era un conductor de electricidad. Esta teoría fue reconocida unos años más tarde por Liss.

Por último, nombrar al premio Nobel y descubridor del electrón, J.J Thompson. Este profesor de física de la universidad de Cavendish en 1887 descubrió el electrón, lo que provocó un avance muy importante dentro de la electricidad, ya que gracias a este elemento es posible entender muchos de los fenómenos que se explicaran en este trabajo.

Para una mejor comprensión de este trabajo, es necesario tener unos conocimientos básicos sobre ciertos conceptos físicos. Por ello, esta primera parte se basará en el

desarrollo de conceptos sobre la electricidad y el magnetismo, y de cómo estos se comportan en la atmosfera.

2.2 LA ELECTRICIDAD

Para poder entender el comportamiento y funcionamiento de la electricidad hay que descomponer la materia. Para ello en un principio, la dividimos en partes lo más pequeñas posibles, sin que estas pierdan su naturaleza, esto da como resultado, las moléculas. Si a su vez estas moléculas son divididas, se puede comprobar que están formadas por átomos (del griego sin división). Se conoce como átomo a la partícula más pequeña en la que se puede dividir la materia. Dependiendo de la composición atómica de las partículas, estas se pueden clasificar en elementos (los átomos que lo forman son iguales) o compuestos (los átomos que lo forman son desiguales). La electricidad se puede explicar gracias al conocimiento que se tiene del átomo, en concreto de su estructura, ya que es esta la que permitirá que un cuerpo tenga o no carga eléctrica y por lo tanto exista electricidad.

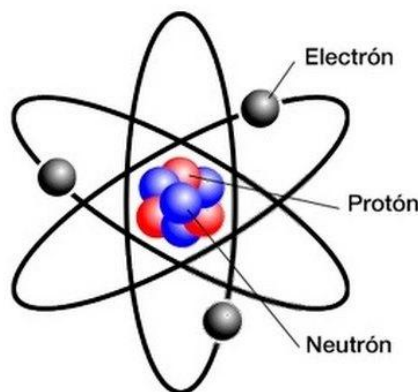


Imagen 2.2: Estructura de un átomo. Fuente: <http://diegoiguna.blogspot.com>

El átomo se divide en dos partes. Un núcleo central y una nube de partículas. Estos a su vez están constituidos de partículas. El núcleo está formado por protones y neutrones. Los protones son unas partículas que contienen una carga eléctrica positiva, sin embargo los neutrones carecen de carga. Por otra parte, se encuentra la nube de partículas, la cual está formada por electrones que giran en diferentes órbitas elípticas alrededor del núcleo. Estos electrones contienen una carga eléctrica negativa.

El átomo por definición es neutro, esto quiere decir que no tiene carga debido a que contiene el mismo número de protones que de electrones. Si esta definición teórica se cumpliera en la realidad no existiría la electricidad, por lo tanto la pregunta es: ¿Qué ocurre para que los átomos puedan electrificarse? Esta pregunta tiene una respuesta relativamente sencilla, ya que un átomo aislado es cierto que no tiene carga, sin embargo cuando se ha definido la materia se dijo que estos se asociaban para crear moléculas y es de esta asociación de donde procede la electricidad. Anteriormente se mencionó que el átomo está compuesto por un núcleo y una nube de partículas. Esta nube de partículas es la que contiene los electrones, que dependiendo la complejidad del elemento este puede tener mayor o menor número de protones y electrones (cuanta mayor sea la complejidad del elemento, mayor será el número de electrones y protones) y por tanto, mayor la facilidad para perder o ganar electrones.

Para comprender mejor este fenómeno es necesario explicar el funcionamiento de la nube de partículas. Los electrones son atraídos por el núcleo, debido a esto es posible que los electrones puedan orbitar alrededor de él (la fuerza que actúa sobre los electrones se la denomina fuerza débil). Cuanto mayor sea el número de electrones que contiene un átomo mayor será el número de orbitas alrededor del núcleo. Las orbitas más alejadas al núcleo son aquellas que tienen una mayor facilidad para desprenderse del átomo (se les denomina electrones de valencia o electrones libres) y son por lo tanto las causantes de la electricidad.

Es importante mencionar que un átomo tiene carga positiva o negativa dependiendo de los electrones que gane o pierda, es decir, el único componente móvil de un átomo es el electrón.

Por regla general, los cuerpos suelen encontrarse en un estado eléctricamente neutro, por ello, cuando acercamos un cuerpo cargado negativamente (electrones) hacia otro sin carga o con una carga menor, existirá un intercambio de electrones hasta que ambos cuerpos se igualen eléctricamente (proceso similar al del viento o las mareas). Estos electrones se desplazan del cuerpo negativo (mayor número de electrones) al positivo (menor número de electrones), sin embargo, el sentido de la corriente es justamente el contrario, es decir, del positivo al negativo.

Toda carga eléctrica genera un campo invisible a su alrededor, este campo se denomina campo eléctrico. El campo eléctrico es una fuerza que rodea a la materia eléctrica. Este puede tener un carácter positivo o negativo dependiendo del tipo de cargas que los compongan. Al igual que sucede con el campo magnético, es capaz de atraer o repeler una carga, dependiendo del tipo de carga de esta.

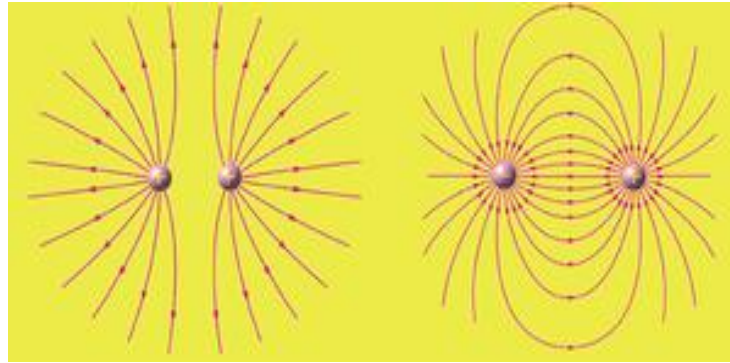


Imagen 2.3: Campo eléctrico. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Campo_el%C3%A9ctrico

El campo eléctrico al ser una fuerza se representa mediante vectores, los cuales son denominados líneas de campo o líneas de fuerza. Dependiendo del tipo de carga, los vectores representaran diferentes movimientos. En los campos creados por una carga positiva las líneas de fuerza tienen una dirección radial y se alejan de la carga. Justamente ocurre lo contrario si la carga es negativa, es decir la línea de fuerza tiene una dirección radial y se acerca a la carga. Estas son las dos posibilidades que existen si los cuerpos están libres o lo que es lo mismo sin contacto con otros elementos.

En el caso que estas cargas entren en contacto con otras, el comportamiento de las líneas de fuerza variará. Si se trata de una carga positiva y una negativa se generarán unas líneas de fuerza que circularán de una carga a otra (dirección: positivo al negativo). Cuanto más se aleje de la carga, las líneas de campo están más separadas, por lo tanto a mayor separación de las líneas menor será el campo eléctrico (el número de cargas es proporcional al valor de la carga) (Conde, 2007).

Para poder comprender el comportamiento eléctrico de la atmósfera, es necesario conocer primero la composición de esta y cómo actúan sus diferentes componentes dentro de ella. La atmósfera es una capa gaseosa que envuelve la Tierra, esta está compuesta principalmente de Nitrógeno (N_2), Oxígeno (O_2), Argón (Ar), Vapor de

agua (H₂O) y Dióxido de Carbono (CO₂). Según su composición se puede dividir en dos partes, la homosfera y la heterosfera.

La homosfera es una capa que se extiende hasta los 80-100 Km de altura y se caracteriza por tener una composición del aire homogénea, es decir, esta capa mantiene las proporciones de los gases que la componen en toda su extensión (aunque su concentración decrece según aumentamos en altura). La heterosfera es la capa que se extiende a partir de esa altura (80-100 Km) y recibe este nombre debido a que su composición varía dependiendo de la altura (Anónimo, 2007).

Si nos fijamos en la temperatura de la atmosfera es posible realizar otra división, la cual se compone de cinco capas, unas superpuestas a las otras. La primera de estas capas sería la troposfera. Esta capa se extiende desde la superficie terrestre hasta los 12 Km de altura media (varía desde los 9 Km que existen sobre los polos a los 18 Km que hay en las áreas ecuatoriales). En esta zona se localizan la mayoría de los gases que encontramos en la atmosfera. Se considera capa sucia a los primeros 500 m de esta capa, ya que son en ellos donde se concentra principalmente el polvo y los diferentes núcleos de condensación (partículas que facilitan el paso del agua de gas a liquido) que se pueden encontrar en la atmosfera. En esta capa se encuentra prácticamente la totalidad del vapor de agua que se encuentra en la atmosfera, es también el lugar donde se desarrollan los fenómenos meteorológicos.

La siguiente capa se conoce como estratosfera y se extiende desde la tropopausa hasta los 50 Km de altura. En esta capa, es donde se genera la mayor parte del ozono, en concreto, este elemento se genera entre los 15 y 30 Km de altura, conociéndose a este espacio como ozonfera (es el lugar donde aparece la capa de ozono), esta capa tiene una gran importancia para la vida en la Tierra, ya que es la encargada de absorber parte de las radiaciones ultravioletas provenientes del Sol. A lo largo de esta capa y debido a esta absorción la temperatura aumenta hasta llegar aproximadamente a los 0°C. En esta capa existen movimientos horizontales de aire sin embargo los verticales son inexistentes. La parte superior de la capa es conocida como estratopausa.

Según se asciende la siguiente capa en aparecer sería la mesosfera, la cual se extiende hasta los 80 Km. De esta capa poco se sabe, aunque si se puede afirmar que la

temperatura en ella descende según se aumenta la altura, en su punto más alto llega a alcanzar los -140°C . La zona de contacto con la siguiente capa se conoce como mesopausa.

La penúltima de las capas que conforman la atmósfera sería la termosfera o ionosfera, la cual se extiende desde los 80 Km hasta los 600-800 Km de altura. Esta capa recibe este nombre debido a que en ella se localizan una gran cantidad de partículas ionizadas debido a la absorción de la radiación solar. En esta capa ocurre un proceso (debido a la absorción de la radiación solar) que provoca que los átomos pierdan parte de sus electrones lo que origina que las partículas que se encuentran en esta capa estén ionizadas positivamente. Esta pérdida de electrones provoca que exista una gran cantidad de estas partículas en estado libre. Esta gran cantidad de electrones libres genera un campo eléctrico dentro de esta capa.

Por último, se encuentra la exosfera, la cual se extiende desde los 600-800 Km. hasta los 10.000 (esta cifra varía según los autores). En esta capa la densidad de los gases es muy baja lo que provoca que sus características sean muy parecidas a las del espacio exterior.

Las características de la atmósfera permiten la existencia de la vida dentro de ella y esto se debe a una serie de funciones que hace de este, un planeta habitable. Para empezar, la Tierra tiene un balance de radiación nulo, esto que quiere decir, que la radiación que absorbe es igual a la que expulsa y por lo tanto tiene una temperatura media constante (de no existir este proceso la Tierra se enfriaría y calentaría constantemente). Otra de las funciones que encontramos en la atmósfera es la función protectora, este fenómeno es muy fácil de entender si observamos la temperatura de las diferentes capas que componen la atmósfera, si se observa detenidamente se puede ver que unas capas aumenta su temperatura mientras que en otras descende, esto es debido a la manera selectiva que tiene la atmósfera de absorber la radiación, ya que cada una de sus capas absorbe diferentes tipos de radiaciones. La última de las funciones de la atmósfera es la reguladora, ya que en ella se absorbe parte de la energía recibida tanto por la Tierra como por el Sol para lograr mantener la temperatura “constante” dentro del planeta. Por otro lado, la circulación del aire también favorece a esta regulación de la temperatura terrestre.

Una vez explicada la estructura y funcionamiento de la atmosfera será más sencillo entender el comportamiento de la electricidad dentro de esta. Al igual que sucedía en los casos anteriores, si hablamos de electricidad atmosférica también es posible dividir la atmosfera en diferentes capas. En el caso de la composición eléctrica de la atmosfera, esta se puede dividir en tres parte: la baja, la media y la alta atmosfera.

La baja atmosfera comprende desde la superficie terrestre hasta los 30 Km de altitud. Esta capa es la que comprende todos aquellos fenómenos eléctricos asociados a procesos eléctricos, como pueden ser las tormentas. En esta capa existe una gran actividad atómica, lo que provoca una gran producción de iones que favorecen la creación de los diferentes procesos eléctricos anteriormente citados. La ionización de los átomos (a consecuencia de las partículas y elementos que componen este espacio) es debido a dos tipos de radiaciones provenientes de dos fuentes muy diferentes. Por un lado, encontramos los rayos cósmicos procedentes principalmente del Sol, y por otro, la radiación que desprende la superficie de la Tierra (Global and Electricidad, no date).

La atmosfera media, se extiende desde los 30 Km. de altura hasta los 85 Km. Esta capa comprende la parte superior de la estratosfera y la mesosfera. La ionización en esta capa es debida a varios motivos, sin embargo los más importantes proceden del espacio (rayos cósmicos, radiación solar intensa, protones solares...). Esta gran cantidad de fuentes ionizantes se debe a las diferentes composiciones que encontramos dentro de ella (recordar la división de la atmosfera por temperatura), y que genera que dependiendo de la altura en la que uno se encuentre sea una u otra fuente la que provoque la ionización de ese espacio.

Por último, es necesario hablar de la alta atmosfera, la cual está compuesta por la termosfera o ionosfera y la exosfera. Esta capa es complicada de delimitar debido a su situación y características, aunque se puede afirmar que se extiende desde los 85 o 90 Km. de altitud hasta los 1000 Km. Esta capa tiene una gran importancia dentro de la creación de electricidad dentro de la atmosfera, ya que es en la ionosfera donde se producen la mayor parte de los procesos fotoquímicos y provoca la formación de iones y de electrones libres que servirán para generar nuevos iones (Global and Electricidad, no date).

La Tierra, si es estudiada desde un punto de vista eléctrico se podría considerar un gran condensador, ¿Qué significa esto? Que si analizamos la Tierra desde su composición eléctrica podemos diferenciar entre dos conductores, uno positivo (la Tierra) y otro negativo (la Ionosfera) y de un elemento dieléctrico, el cual sirve de controlador, que en este caso sería el aire. El funcionamiento de un condensador consiste en “almacenar” la electricidad que recibe en el periodo de carga para posteriormente cederla en su periodo de descarga (estos periodos se producen al llegar a un máximo de potencia). Esta comparación permite entender un poco mejor, la formación de rayos en el circuito eléctrico atmosférico global.

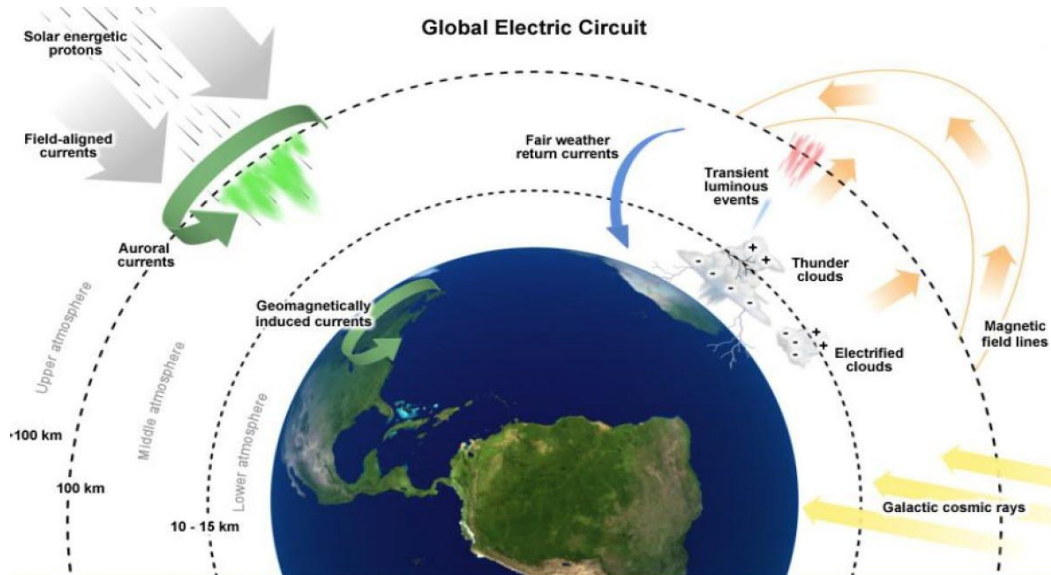


Imagen 2.4: Circuito eléctrico global. Fuente: ucarconnect.ucar.edu/

El circuito eléctrico global (GEC) enlaza el campo eléctrico y las corrientes que fluyen en la Troposfera, Ionosfera y Magnetosfera formando un enorme condensador (Lakhina, 1993; Bering III, 1995; Bering III et al. al., 1998; Rycroft et al., 2000; Siingh et al., 2005). Las tormentas electrifican la atmósfera, generando una columna ascendente que entra en contacto con la Ionosfera, esta columna se la conoce como corriente de Wilson. Esta corriente se distribuye por las capas altas del globo terráqueo y vuelven a la superficie terrestre debido a la corriente existente con el buen tiempo o Fair- Weather. Este circuito es posible gracias a la resonancia de Shumman, (Siingh *et al.*, 2007) la cual provoca que estas ondas generadas por los rayos, reboten en la Ionosfera y vuelvan a la superficie terrestre. Este circuito se ve afectado por diferentes

motivos como son: tormentas eléctricas, dinámica de la Ionosfera, viento solar, auroras boreales...

Tras explicar la composición y algunas de las características eléctricas de la atmósfera, es necesario acudir a una escala atómica para estudiar el elemento que origina tales características. En este caso me refiero al ion. En el caso de los iones atmosféricos es posible clasificarlos en tres tamaños: pequeños, grandes intermedios.

Los iones pequeños son moléculas ionizadas que se mueven libremente por la atmósfera a gran velocidad y son las causantes de la ionización de los diferentes elementos que componen la atmósfera. Estos se suelen encontrar en las capas más altas de la atmósfera. Los iones grandes tienen una velocidad muy inferior a la de los iones pequeños (equivalente a comparar un avión militar con un patinete). Estos se localizan en la zona baja de la atmósfera y suelen ser combinaciones de iones o de un ion con un aerosol. Se consideran iones medios a todos aquellos que se encuentran entre los dos tipos anteriores.

En la atmósfera existe un número finito de iones, además de existir un punto de equilibrio entre ellos, por eso estos se pueden crear o destruir. A continuación se comentarán algunas de las causas que producen estos procesos.

- Recombinación de iones pequeños originando partículas neutras.
- Combinación con iones grandes de signo opuesto dando lugar a partículas neutras.
- Combinación con partículas neutras creando iones grandes.
- Combinación con iones grandes del mismo signo dando lugar a partículas multicargadas

Como se menciona anteriormente, todo espacio “electrizado” (que contiene cargas eléctricas) genera un campo eléctrico, el cual puede ser de mayor o menor intensidad dependiendo de la concentración de iones en dicho espacio. Este fenómeno también ocurre en la atmósfera, y debido a las características de esta, los científicos diferencian entre campo eléctrico de buen tiempo (Fair Weather) y campo eléctrico perturbado. Los científicos consideran que las condiciones de buen tiempo (Fair Weather) son: inexistencia de precipitaciones, debe existir menos de 3/8 de cielo cubierto y debe haber una gran visibilidad. Se puede afirmar que el campo eléctrico de la atmósfera

con una situación de “Fair weather ” es de unos 100-120 V/m², el cual presenta una dirección descendente hacia el suelo. A su vez, existe también una variación entre la potencia del campo eléctrico diurno y el nocturno. En el caso de tiempo perturbado es complicado generar unos parámetros o características generales del campo eléctrico atmosférico, ya que este es muy variable debido a la estimulación que recibe por parte de las cargas eléctricas que contienen las nubes.

En resumen, el campo eléctrico aunque en determinadas ocasiones puede considerarse “constante”, sufre de una serie de variaciones que impiden generar unas reglas generales sobre este. Algunas de estas variaciones son: latitudinal, altitudinal, diurna, anual y debida a las influencias solares.

2.3 EL MAGNETISMO

El magnetismo es un fenómeno físico mediante el cual ciertos objetos ejercen una de atracción o repulsión sobre otros. Esta cualidad física se puede encontrar de manera natural o artificial. En el caso de los imanes naturales se encuentra la magnetita que es considerado el único imán que se puede encontrar de manera natural. En el caso de los artificiales encontramos una gran cantidad de elementos con estas características, algunos ejemplos son: hierro, cobalto o níquel.

Los elementos magnéticos tienen la cualidad de concentrar sus propiedades en los extremos del elemento. A su vez, el elemento magnético puede ser dividido tantas veces como se quiera sin que este pierda su carácter magnético, sin embargo si perderá parte de su fuerza magnética¹³ (Inducción and Flujo, 2008). Los elementos magnéticos contienen dos polos a sus extremos. Estos polos se dividen a su vez en dos tipos: Norte y Sur. Al igual que sucediera con los campos eléctricos, estos materiales tienen la capacidad de atraer a los polos opuestos y de repeler a los polos iguales, siendo esta una de sus mayores características.

Otra similitud que tiene el magnetismo y los campos eléctricos es que ambos son fuerzas, por lo que se representan de manera vectorial, la diferencia existente entre ambos es que en el caso del magnetismo se trata de líneas de campo cerradas, ya que estas discurren desde el polo norte al polo sur.

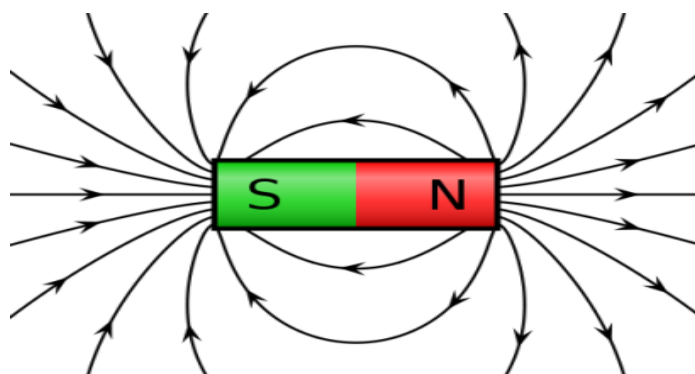


Imagen 2.5: Campo magnético. Fuente: <http://www.escuelapedia.com/el-campo-magnetico-terrestre/>

Para poder explicar el fenómeno físico del magnetismo es necesario retroceder al comienzo de este trabajo, ya que el magnetismo y la electricidad están estrechamente ligados. Para entender el funcionamiento de los elementos magnéticos es necesaria la visión atómica, es decir, observar el átomo y el comportamiento de este en diferentes materiales. En el caso de los elementos conductores (electricidad) el electrón circula de manera libre por el átomo siendo posible el intercambio de estos entre átomos, sin embargo los elementos magnéticos tienen una estructura diferente, ya que en vez de crear un campo de fuerza nuclear (atracción hacia el núcleo del átomo), puede generar varios campos que al entrar en contacto entre ellos son capaces de crear un campo aún mayor conocido como campo magnético. También se puede explicar este comportamiento de otra manera que igualmente resulta más sencilla de entender. En cualquier material los electrones se encuentran orientados de manera anárquica, es decir no tienen un orden lógico ni siguen ningún tipo de serie, sin embargo en los materiales magnéticos estos electrones se encuentran ordenados y todos tienen la misma orientación lo que genera ese fenómeno de atracción.

La gran relación existente entre el magnetismo y la electricidad puede ser observado en cualquier circuito eléctrico, puesto que estos al estar conectados y al existir en ellos una corriente eléctrica dan lugar a la aparición del campo magnético, el cual desaparece inmediatamente después de haber desconectado el circuito y por lo tanto cesado la corriente eléctrica. La corriente eléctrica genera un campo magnético debido a la circulación de electrones por un conductor como el alambre por ejemplo.

Este campo magnético se puede aumentar si el conductor está dispuesto en forma de espiral es decir, creando un solenoide, el cual genera que los campos magnéticos que se crean al pasar la corriente se combinen dando lugar a un campo eléctrico más

grande. Para poder intensificar este campo es necesario que dicho solenoide sea atravesado por un metal, lo que generará un campo magnético muy superior al anterior y por lo tanto una mayor capacidad de atracción o imantación. A este tipo de imanes se les conoce como electro imanes. La electricidad, el magnetismo y el movimiento están tan estrechamente relacionados que solo es necesario que dos de ellos se combinen para que aparezca el tercero. Este dato resulta de gran interés, puesto que esta relación puede resolver alguno de los fenómenos que se pueden observar en este trabajo.

Una vez explicado el magnetismo a nivel teórico, sería interesante observarlo a nivel planetario, ya que debido al magnetismo de la Tierra ocurren algunos fenómenos atmosféricos interesantes.

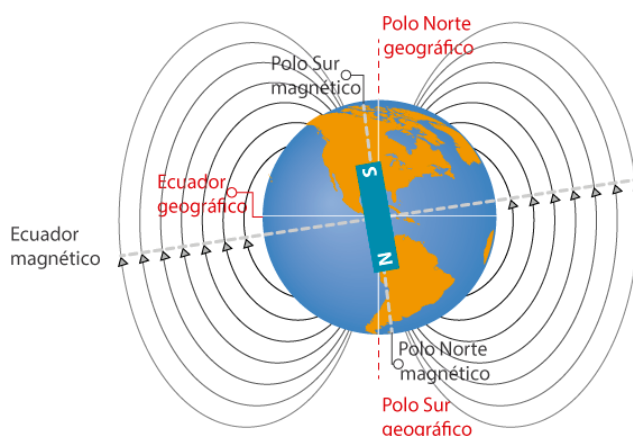


Imagen 2.6: Campo magnético de La Tierra.

Fuente: <http://danielesquivel.net/2016/06/29/magnetismo-terrestre/>

Es imposible hablar del campo magnético de la Tierra sin nombrar anteriormente a Carl Friedrich Gauss. Este hombre es conocido por sus aportaciones al campo de las matemáticas pero también fue un gran estudioso del magnetismo terrestre. Él fue quien estableció las bases del campo magnético terrestre. Fue en 1832 cuando Alexander von Humboldt le propuso a Gauss construir una red a nivel mundial para observar el magnetismo de la Tierra. Gauss junto a su amigo Wilhelm Weber deciden construir una serie de observatorios en los cuales se localizarían magnetómetros (invento de Gauss) para observar y estudiar el campo magnético terrestre. No es hasta 1839 cuando Gauss recopila los resultados de sus investigaciones en el que denominaría “Teoría general del magnetismo terrestre”. Es en 1919 cuando Joseph Larmor consiguió dar una explicación lógica mediante su teoría de la dinamo.

El campo magnético de La Tierra es generado por la diferencia de temperatura y estado del núcleo interno y el externo. El núcleo externo es una masa líquida que se encuentra a unos 3800°C , mientras que el núcleo interno de la tierra es una masa sólida que se encuentra a una temperatura de 5300°C (datos aproximados). Esta diferencia de temperatura genera unas fuertes corrientes, las cuales debido al movimiento de rotación de la tierra discurren en forma de espiral y paralelas al eje. A este fenómeno se le conoce como efecto dinamo. Estos movimientos debido al gran contenido de metales que contiene el núcleo externo provocan una “electrificación” de estas corrientes lo que da lugar a que se genere el campo magnético terrestre. El magnetismo terrestre atrae a las partículas que desprende el Sol a la vez que nos protege de sus efectos.

El campo terrestre se distribuye de forma desigual, ya que sigue las líneas de campo magnético, por lo que este campo se localiza más cerca en los polos. Esta distribución provoca que las partículas solares penetren más en la atmósfera generando algunos problemas en las poblaciones situadas cerca de los polos. Esta característica del campo magnético también provoca fenómenos de una gran belleza como es el caso de la Aurora Boreal.

La Tierra no tiene un campo magnético constante sino que este se mueve e incluso puede cambiarse la polaridad del planeta, lo que provoca la desaparición del campo magnético durante un corto periodo de tiempo. Estos cambios de polaridad, son observados por los expertos en los materiales sedimentarios en los fondos marinos, ya que estos, dependiendo del magnetismo terrestre se posicionan de diferente manera (Vickers Daniel, 2013).

Este fenómeno es el culpable de que exista vida en la Tierra, puesto que sin él las partículas solares llegarían a la superficie del planeta, esto generaría una situación en la que la vida sería imposible fuera del agua, por lo tanto la evolución hubiera sido muy diferente. El campo magnético terrestre sufre una serie de fluctuaciones cuando es golpeado por el viento solar cargado de partículas. Es un fenómeno común debido a la estrecha relación que existe entre la electricidad y el magnetismo. Al chocar con el campo magnético unas partículas altamente cargadas provoca que el campo sufra una serie de variaciones que afectan a su configuración.

2.4 LOS EFECTOS BIOLOGICOS DEL ELECTROMAGNETISMO

2.4.1 El electromagnetismo como elemento útil para la vida

El campo electromagnético de La Tierra, es uno de los componentes que permite la existencia de vida en este planeta. Este campo, además de protegernos de las radiaciones exteriores (Sol), favorece algunas de las principales actividades biológicas de los seres vivos. Sin embargo, en la actualidad debido al gran crecimiento de los aparatos electrónicos, este campo se puede ver alterado.

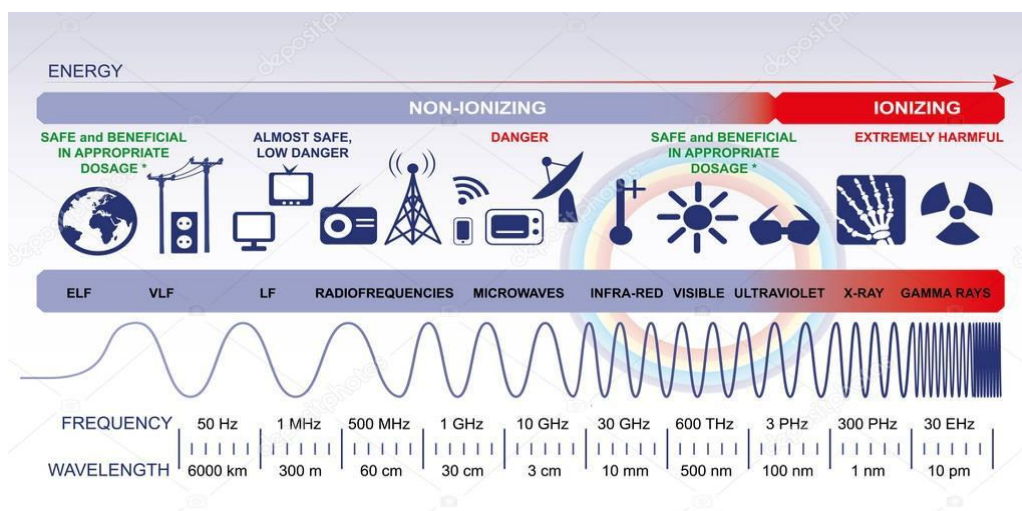


Imagen 2.7: Espectro electromagnético. Fuente: <https://sp.depositphotos.com>

Para poder conocer todos los efectos negativos que tiene esas variaciones del campo magnético sobre los seres vivos, sería necesario analizar todas las componentes de este (frecuencia, intensidad, modulación...). Sin embargo, en la actualidad existen estudios que demuestran que la exposición a campos magnéticos superiores a 0,3 microTeslas (μT) (Radianza, 2018), pueden tener efectos nocivos sobre los humanos.

Estos efectos que hoy en día se empiezan a estudiar, pueden ser una causa importante del actual cambio climático, ya que afecta al desarrollo de los aerosoles en la atmósfera, al crecimiento de la vegetación, a la orientación de los animales o incluso puede llegar a afectar a la salud humana (Socialista, 2011).

Para hacer más visibles las posibles consecuencias que tiene la alteración del campo electromagnético terrestre, se pondrán una serie de ejemplos en las que los seres vivos se ayudan de los diferentes campos electromagnéticos que se crean dentro de La Tierra.

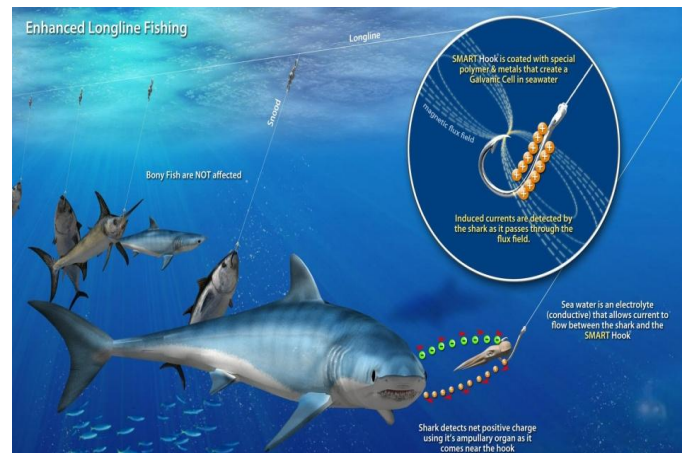


Imagen 2.8: Electrorreceptores de los tiburones.

Fuente: <http://www.sharkdefense.com/other-research/smart-hooks/>

Uno de estos casos se corresponde con los tiburones y su capacidad para orientarse y localizar a sus presas. Los tiburones son capaces de orientarse en los océanos y localizar presas a varios kilómetros de distancia. Esto se debe a unos electroreceptores que perciben cualquier tipo de cambio en el espectro electromagnético de los mares (King, Hu and Long, 2018).

Otro ejemplo, sería el de las abejas y su elección de las plantas que polinizan. Según un estudio de la Universidad de Bristol, (Clarke *et al.*, 2013) las abejas y las plantas se comunican por campos electromagnéticos. Dicha comunicación se debe a los campos generados por la planta y la abeja, los cuales son de polaridad contraria, lo que provoca una variación en el campo eléctrico que permite a la abeja distinguir una gran variedad de plantas. Esta capacidad de detección está más agudizada en los abejorros.

Por último, mencionar el caso más conocido de todos, que es la orientación de algunas aves que cuentan con una brújula magnética en su cerebro, la cual no solo les permite orientarse sino percibir la dirección de dicho campo, lo que favorece notablemente la orientación de estos (Zapka *et al.*, 2009). Parece claro que cualquier tipo de cambio existente en el campo electromagnético terrestre afectaría a estas especies, como ya se ha demostrado en algunos estudios, generando una nueva situación de la cual se desconocen sus posibles efectos.

El ser humano ha estado bajo la influencia de campos electromagnéticos desde el comienzo de sus tiempos. Esto es debido a que La Tierra genera su propio campo electromagnético, el cual, ha ido variando con el transcurso del tiempo. Este hecho no ha sido trascendente hasta la aparición de la electricidad artificial, la cual genera también sus propios campos electromagnéticos, los cuales interaccionan con el ser humano. En sus comienzos, no conllevaba ningún tipo de peligro para el ser humano o incluso para los seres vivos en general, sin embargo, en la actualidad la situación puede ser diferente debido a que vivimos en la era de la electricidad y la electrónica, lo que provoca que estemos en constante contacto con diferentes tipos de campos electromagnéticos. Estos campos en la mayoría de los casos no supera la intensidad del propio campo terrestre, pero la acumulación de todas estas pequeñas dosis de electromagnetismo llevan a preguntarse sobre la neutralidad que estos campos tienen en los seres vivos.

2.4.2 El electromagnetismo como riesgo

Para poder entender los posibles efectos de los campos electromagnéticos en los seres vivos es necesario, entender la composición de los seres vivos y conocer los diferentes campos electromagnéticos existentes y las características de estos.

Los organismos están compuestos por millones de células. Estas células son el elemento que crea los diferentes órganos (cuando se unen) y conexiones (neuronas) en un organismo. Las células se pueden dividir en tres partes principalmente, por un lado se localiza la membrana, la cual se encarga de mantener la célula unida, por otro se encuentra el citoplasma, el cual es una especie de gel dentro de la membrana que se encarga de diferentes funciones metabólicas, por último, es posible encontrar un núcleo, aunque este no se encuentra en todas las células (las células sin núcleo no se pueden dividir). En el núcleo se encuentra toda la información genética de la célula.

Las células son estructuras complejas con superficies cargadas. Esto es debido a que están compuestas por moléculas y átomos cargados, los cuales pueden cambiar su orientación y comportamiento ante la influencia de un campo electromagnético.

Los campos generados por la Tierra en la superficie varían entre 25 y 65 μT (Merrill, 2010) y estos van perdiendo intensidad según se alejan de los Polos y se acercan al

Ecuador. La influencia de estos campos es necesaria para muchas funciones biológicas, siendo imposible la supervivencia de cualquier ser vivo sin la existencia de este campo.

Aunque no existe un consenso médico sobre los campos electromagnéticos y una disminución de la resistencia del sistema inmunológico, si existen algunos estudios que plantean campos electromagnéticos pueden reducir sensiblemente la producción de la neurohormona melatonina (Díaz Soto, 2005). Esta sustancia (N-acetil-metoxitriptamina) es la principal hormona de la glándula pineal, cuya producción y secreción máxima tiene lugar durante la noche (oscuridad), se inhibe durante el día, y regula así los ritmos circadianos (Díaz Soto, 2005). Entre otras investigaciones vinculadas a esta tema se destaca la de la Universidad de San Antonio, Texas, donde se evidencia que los campos electromagnéticos artificiales tienen el mismo efecto sobre la glándula pineal que la luz e impide de este modo la secreción nocturna de la melatonina lo que podría explicar de esta manera una disminución de la capacidad del sistema inmunológico. Otras investigaciones han mostrado que los campos de muy baja frecuencia (ELF), reducen de forma drástica los niveles de melatonina. Esta hormona estimula al sistema inmunológico y modula la función de ciertos órganos endocrinos: la pituitaria, el timo, las gónadas y el hipotálamo (Díaz Soto, 2005) y, además tiene otra función importante, la de ser antioxidante, neutralizadora de radicales libres. Dada la importancia de la melatonina en la regulación de las funciones endocrinas es importante considerar que las radiaciones electromagnéticas puedan perturbar dichas funciones ya que podría ser una de las claves para comprender el aumento del riesgo de contraer cáncer en las personas sometidas a este tipo de radiaciones.

A nivel terrestre (naturaleza), uno de los mayores riesgos que existe para la salud del ser humano es la combinación de gas radón y campo electromagnético. ¿Qué es el Radón? El Radón (Rn) es un elemento químico, el cual se integra dentro de los gases nobles (elemento nº 86 de la tabla periódica). Este elemento se produce con la descomposición de algunos elementos radiactivos como pueden ser el Radio (Ra), el Actinio (Ac) o el Uranio (U). El Radón es un gas que se encuentra en pequeñas concentraciones en el aire, aunque también podemos encontrar grandes concentraciones de este gas en terrenos graníticos tal como se observa en la Figura 9 que presenta el mapa de Radón en España por municipios. Cuando estos terrenos se

fracturan, el gas sale al exterior y es entonces cuando puede afectar a las personas. Al ser más denso que el aire, se localiza en los pisos inferiores de algunas viviendas. En estado gaseoso es incoloro, inoloro e insípido, sin embargo en estado sólido tiene un color rojizo.

Los estudios del Doctor Quindos (Fernández Muerza, 2017) de la Universidad de Cantabria indican que entre 100.000 y 200.000 viviendas en España, podrían estar afectadas por el gas Radón. Este gas, es uno de los principales causantes del cáncer de pulmón, debido a que al inhalarse, las partículas se pegan al tracto respiratorio, generando una irradiación que puede afectar a las células que se localizan en esta zona del cuerpo. Según el Dr. Quindos, en España no se están tomando medidas para prevenir esta situación, sin embargo la UE ha aprobado una nueva directiva mediante la cual, se deberá medir y controlar la cantidad de Radón en las viviendas.



Imagen 2.9: Mapa de Radón en España. Fuente: www.csn.es/mapa-de-zonificacion-por-municipio

La combinación de este gas con los campos electromagnéticos artificiales, puede ser muy peligrosa para el ser humano. Esto es debido a que las partículas de Radón suelen unirse con las partículas de agua o aire, y al estar estas cargadas eléctricamente provocan que en zonas en las que existen elementos eléctricos (tendido eléctrico, electrodomésticos o cualquier elemento enchufado a la red) estas partículas asciendan y puedan ser aspiradas por el hombre, con lo que ello conlleva. Este proceso, es uno de

los que pueden explicar el mecanismo por el que se cree que, indirectamente en este caso, los campos electromagnéticos son nocivos para la salud.

Por otro lado, se encuentran los campos generados por fuentes artificiales que no son objeto de este trabajo. En primer lugar, cabe mencionar que en la actualidad no existe ninguna certeza de que estos campos electromagnéticos tengan un efecto nocivo dentro del cuerpo humano. Esto es debido a que no se han realizado suficientes experimentos, por ello no existe una certeza sobre estos efectos, aunque sí existen serias sospechas que relacionan la exposición a un campo electromagnético con ciertas enfermedades.

La OMS, como medida cautelar, recomienda no estar expuesto durante un largo periodo de tiempo (periodos superiores a 5 ó 6 horas diarias) a campos magnéticos superiores a 30 μT (OMS, 2016) .

Dentro de estos campos generados por fuentes artificiales hay que distinguir tres categorías, ya que intervienen una gran cantidad de factores dentro de estos campos y es imposible agruparlos a todos en un mismo grupo, además cada una de ellas tiene un efecto diferente sobre el cuerpo humano, lo que genera que unas sean más peligrosas que otras. Estas 3 categorías son: Radiación ionizante, campos de radiofrecuencia y microondas (RF/MW) y campos de baja frecuencia (ELF).

- Radiación Ionizante: Este tipo de campo electromagnético es típico de los aparatos de rayos X o gamma. Este tipo de exposiciones son altamente perjudiciales para el ser humano (son las que más estudios han recibido), ya que la ionización puede provocar graves daños en los genes, los cuales en ciertas ocasiones son irreparables, también puede afectar a nuestro ADN e incluso alteraciones del cromosoma, lo que provoca mutaciones y otra serie de enfermedades de carácter genético. Esta radiación es capaz de romper la membrana celular e incluso de romper los enlaces químicos que provocan la comunicación celular. A diferencia que ocurre con los campos magnéticos comunes, estos se miden en Sievert (Sv) y una exposición superior a 6 Sievert se considera nociva para el ser humano (enrojecimiento de la zona expuesta).

- Campos de radio frecuencia y microondas: Son los campos generados por los aparatos microondas y todos aquellos aparatos de radio frecuencia (radio, telefonía móvil, internet...). Sobre la exposición a este tipo de campos se han realizado varios experimentos, sin llegar todavía a una conclusión, por lo que habrá que esperar para

saber que dice la ciencia con respecto de estos campos y su efecto en los seres humanos. Aunque en la actualidad no existe un consenso sobre los efectos de este tipo de campos en los seres humanos, sí existen indicios que hacen afirmar que la exposición a campos comprendidos entre 5-20 W/kg (intensidad) y 1,5 y 2,5 GHz (frecuencia) provocan alteraciones en algunas funciones del cerebro e incluso en la comunicación celular. Este tipo de campos está siendo muy estudiado en la actualidad debido al tipo de sociedad en el que vivimos (electricodependiente), por ello, estimo que en poco tiempo existan estudios que corroboren alguna de estas sospechas.

- Campos de baja frecuencia: Este tipo de campos inducen corriente en el organismo, aunque este fenómeno lo llega a producir el propio cuerpo en alguna de sus reacciones bioquímicas. Esto nos indica que a baja frecuencia las corrientes de los campos electromagnéticos son menores a las que genera el propio cuerpo, lo que indica que no tiene fuerza suficiente para romper ningún enlace químico (posibilidad de tener cáncer). Dentro de estos campos hay que diferenciar la variable eléctrica de la magnética, debido a que el campo eléctrico producido en el organismo es superior al que genera la fuente externa, por lo tanto, el propio cuerpo hace de pantalla sobre este tipo de campos. Sin embargo, el campo magnético sí puede afectar al organismo (la mayoría de estudios se enfocan al campo magnético).

3 DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 FUENTES DE DATOS Y METODOLOGÍA

La estructura organizativa del trabajo responde a la secuencia de presentada en la Figura 3.1, en donde a una revisión documental inicial para definir conceptos y el estado del problema, le sigue un trabajo de campo de toma de datos empíricos y un periodo de laboratorio y manejo de herramientas técnicas para representar la información capturada y analizar los riesgos potenciales.

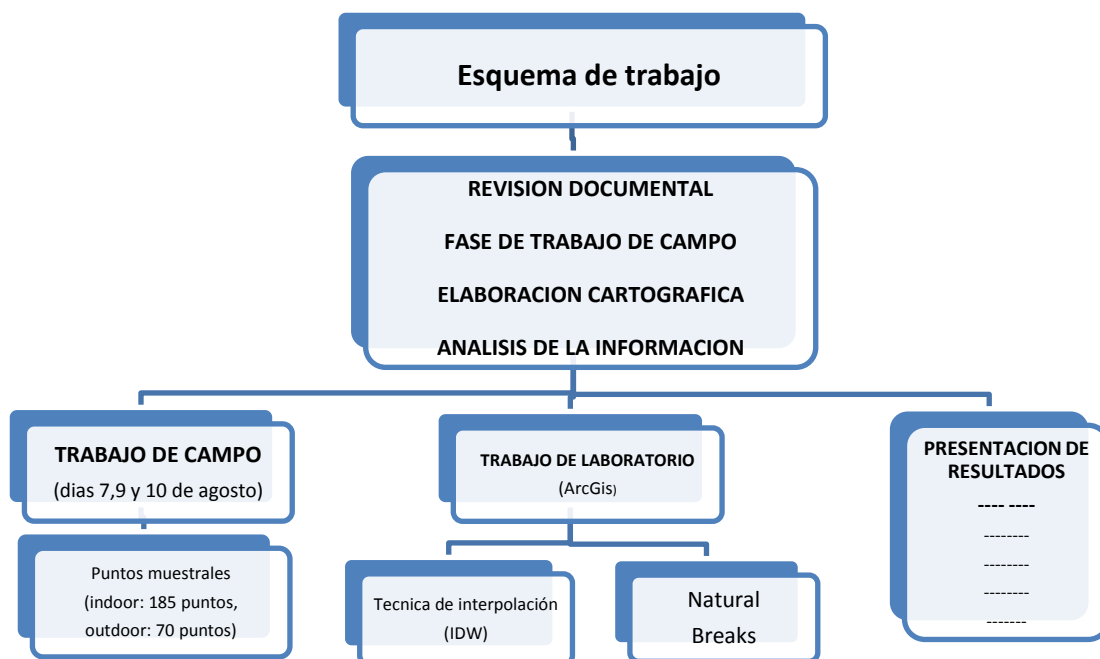


Figura 3.1: Esquema de trabajo. Fuentes: Elaboración propia

Este trabajo como se mencionó anteriormente, tiene dos ámbitos de estudio. El primero es en un espacio exterior en donde las variables meteorológicas deben ser la clave para interpretar el campo electromagnético existente. El segundo ámbito se correspondería con la contaminación electromagnética en el interior de un edificio y sus posibles efectos biológicos. El área de estudio como ya se ha mencionado es el campus de la Universidad de Cantabria y el edificio Interfacultativo. Las fuentes de datos empleadas han sido diversas tal como recoge la Figura 3.2.

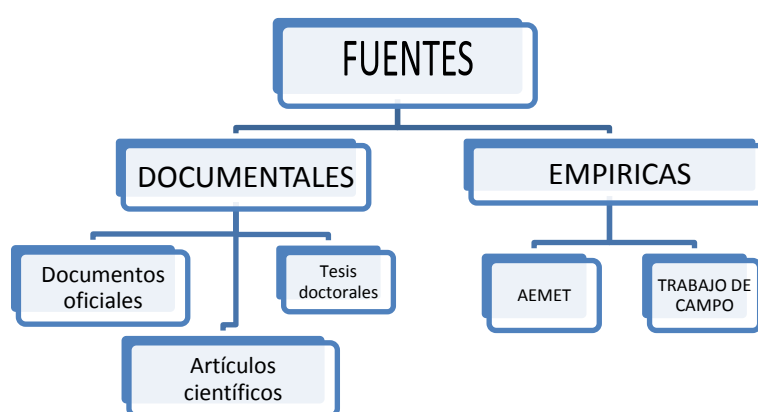


Figura 3.2: Esquema de fuentes. Fuente: Elaboración propia

a) Revisión documental de conceptos y estudios científicos

En un primer lugar, se ha necesitado recopilar toda la información necesaria acerca del tema a tratar. En este caso al ser un trabajo que tiene dos áreas de estudio bien definidas, ha sido necesario estudiar cada una de las partes por separado para finalmente lograr una visión general del conjunto. La revisión conceptual y del estado de la cuestión se ha obtenido principalmente de tesis doctorales, artículos científicos y de prensa y de revista científicas publicadas en internet.

Tras la lectura de toda la información recopilada ha sido necesaria su organización, debido a que la complejidad de los conceptos manejados impiden ser recitados o expresados de cualquier manera, siendo necesario organizar dichos conceptos de forma sintética y clara en la primera parte del documento ya leído, para que el lector pueda entenderlos de manera sencilla y entienda la complejidad del objetivo científico de este trabajo.

b) Planificación del trabajo de campo y la recogida de datos

Por otro lado, ha sido necesario tomar medidas en la propia área de estudio. Para ello se ha utilizado el aparato que recibe el nombre de *Enviromentor*. Permite medir campos eléctricos y magnéticos. Las características técnicas del aparato se describen en la Tabla 3.1

DATOS TECNICOS	
Rango de medida	0,05 μ T - 100 μ T
Precisión	± 10 % $\pm 0,05$ μ T
Rango de Frecuencia	30Hz - 2KHz (-3dB)
Filtro de paso de banda	4 secuencias
	Q-value 3.2
	tiempo de conexión 3 segundos
Intervalo de medida	Manual
	1-150 segundos
Dimensiones L x W x H	152 x 83 x 34 mm
Peso	260 gramos (batería incluida)
Baterías	2 x 1,5 V LR6 batería de Litio
Rango de temperatura	-10 a +50° C

Tabla 3.1: Características del medidor Enviromentor.
Fuente: Ab, E. (n.d.). Magnetic Field Logger ML-1 user instructions, 1–12.

Las mediciones fueron tomadas, los días 7, 9 y 10 de Agosto entre las 10:00 horas y las 12:30 horas. El día 8 de Agosto, fue imposible tomar las mediciones debido a motivos

laborales. Las mediciones fueron tomadas durante los tres días en el mismo orden, lo que conlleva que cada medición, se tomo aproximadamente a la misma hora durante los tres días de mediciones.

Para facilitar el proceso de captura de información se estableció un protocolo de medición basado en los siguientes aspectos:

- Las mediciones se deben realizar a un metro de altura sobre el suelo, de no disponer de un trípode o elemento que permita situar el aparato de medida a esta altura, se permite como medida de referencia la altura de la cintura (método utilizado en este trabajo). Por otro lado, el dispositivo de medición debe estar separado del cuerpo unos 30 cm. Esta distancia es aproximada, ya que lo que interesa en este caso es separar el medidor del cuerpo para que no interfieran los campos eléctricos generados por el cuerpo humano. Al sujetar el medidor con la mano, es posible que exista una alteración sistemática en todas las mediciones.
- Es necesario tener muchas mediciones. Esto es debido a la variabilidad de los campos, sobre todo el magnético. Cuando más medidas se realizan mayor exactitud tendrá el trabajo y por lo tanto mayor fiabilidad.
- Otro aspecto a tener en cuenta es la orientación del dispositivo. El medidor tiene en su parte superior una placa de metal, la cual recibe la intensidad de los campos y nos permite medirlos. Por este motivo, es muy importante mantener la misma orientación en todas las mediciones, ya que el resultado no es el mismo si orientamos el dispositivo de una manera u otra.
- Si se hacen mediciones durante varios días es importante realizar las mediciones en los mismos puntos que se han hecho el día anterior. Esto se debe a la gran variabilidad espacial de los campos. En un espacio de 10 cm la intensidad del campo puede ser muy diferente tanto como para cambiar totalmente los resultados de las mediciones. Para una correcta toma de mediciones sería necesario la utilización de un GPS de alta precisión. Al no contar con uno, fue necesaria la utilización de un método menos científico. En este caso, se utilizó la referencia visual. Este hecho, provoca que las medidas tomadas no hayan sido precisas) Hay que tener en cuenta la conexión que existe entre el campo eléctrico y el campo magnético, sobre todo en este orden, ya que un aumento del campo eléctrico conlleva un aumento del campo magnético, circunstancia que no ocurre en el caso opuesto. A su vez, es necesario saber que esta proporción no es lineal, debido a que el campo magnético es más constante.

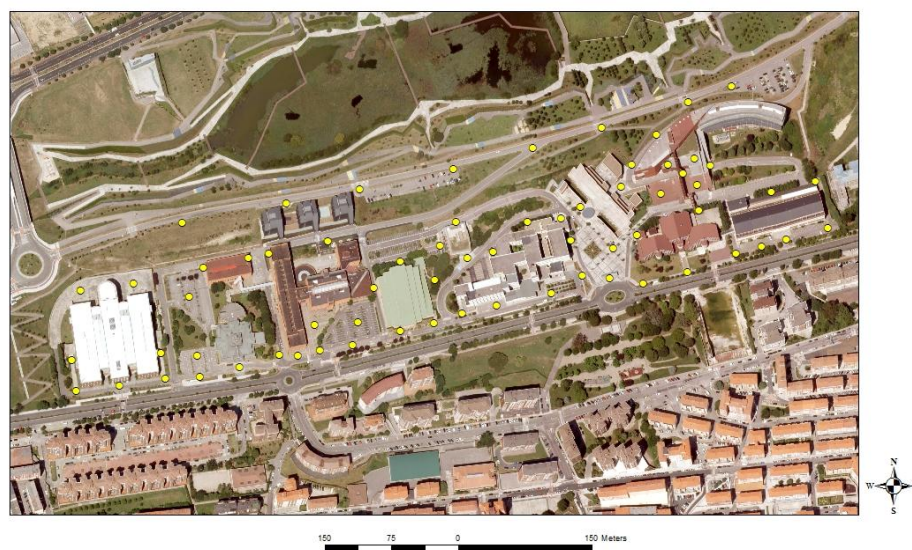
- Para una correcta medición es aconsejable hacer primero todas las mediciones de un campo y después las del otro. Esto se debe a que el medidor tarda un rato en captar el campo, por lo que un cambio constante de un campo a otro nos puede llevar a tener unas mediciones equivocadas.

Las medidas de los campos electromagnéticos se tomaron tanto en el exterior como en el interior de edificios, atendiendo a la relevancia que ambas mediciones tienen. Las mediciones exteriores nos ofrecen una información acerca de la relación entre el campo electromagnético la meteorología. Mientras que las medidas interiores nos ofrecen información sobre la contaminación electromagnética, debido a una situación más antropizada del interior del edificio estudiado.

El número de puntos muestrales seleccionados para la captura de información fue de 184 en la planta cero del edificio Interfacultativo (Mapa 3.2) mientras que en la zona del campus (Mapa 3.1), se tomaron mediciones empíricas de los valores para un total de 70 puntos muestrales.

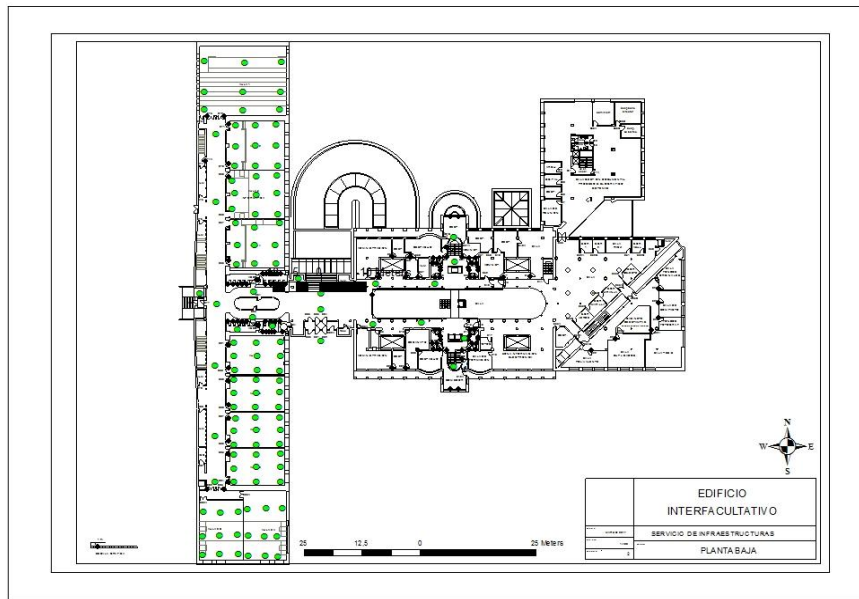
Para ambas mediciones, se decidió utilizar un método en malla, sin embargo en las mediciones exteriores fue imposible llevarlas a cabo de esta manera debido a la orografía y localización de algunos edificios, por ello se decidió tomar las mediciones dentro de las vías de comunicación (calles y carreteras) existentes dentro del campus universitario.

Puntos de medición en el Campus de la UC



Mapa 3.1: Puntos de medición en el Campus universitario de la UC. Fuente: Elaboración propia

Puntos de medición en el edificio Interfacultativo



Mapa 3.2. Puntos de medición en el edificio Interfacultativo. Fuente: Elaboración propia

Una segunda fuente de información ha sido la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) que nos ha proporcionado acceso a múltiples datos meteorológicos necesarios para la elaboración de este trabajo. Gracias a su colaboración se ha trabajado con los datos de humedad relativa, insolación, precipitación, presión, temperatura y viento, necesarios para estudiar la posible relación entre el campo electromagnético y la situación atmosférica. La información meteorológica ha sido registrada por la Estación meteorológica de Santander con número de identificación 1111X. Se escogió este centro meteorológico debido a su cercanía con el Campus de la Universidad de Cantabria.

c) Definición de riesgo y técnicas de representación

En el ámbito de las ciencias de la naturaleza, se entiende como riesgo, la probabilidad de que se produzca un hecho y sus consecuencias negativas (CIIFEN, 2009). La dimensión real del riesgo depende de múltiples factores como:

- a) La magnitud del impacto esperado;
- b) el tiempo de exposición a dicho fenómeno del ser vivo;
- c) la vulnerabilidad del organismo afectado al elemento impactante.

Para que un campo electromagnético genere un riesgo perjudicial para un ser vivo hay que tener por tanto, al menos estos tres factores:

$$\text{Riesgo electromagnético} = I * T * V$$

Siendo:

- (I) Intensidad del campo
- (T) tiempo de exposición
- (V) la vulnerabilidad de cada individuo a los campos electromagnéticos.

Para la representación cartográfica de los datos, se ha empleado un Sistema de Información Geográfico (ArcGis 10.5). Dentro de los mapas, podemos distinguir tres tipos:

a) Mapas de puntos muestrales: Estos mapas representan los lugares de medición. Para su representación ha sido necesaria la creación de un shapefile de geometría de puntos. Una vez significados los puntos, se ha utilizado el apartado de “features” para representarlo como un único símbolo.

b) Cartogramas: Estos mapas representan las mediciones relativas existentes en los diferentes puntos de mediciones durante los tres días de mediciones. Para ello se ha utilizado un grafico de tarta para cada punto de medición. De esta manera, es posible ver las variaciones que ha sufrido el campo electromagnético en un punto durante los tres días de mediciones.

c) Mapas interpolados de resultados: Estas superficies son estimaciones geoestadísticas que nos permiten identificar aquellas áreas que se encuentran por encima o por debajo de las intensidades recomendadas por la OMS. Para la representación de estos mapas se ha utilizado el método de interpolación IDW, debido a que simplifica mucho la comprensión de un elemento tan complejo como es el campo electromagnético. Para la definición de las categorías de agrupación de los valores se decidió utilizar el método de *natural breaks* para el campo eléctrico y la desviación típica. En el caso del campo magnético, esta agrupación se realizó de manera manual, debido a la existencia de una normativa, la cual nos indica los intervalos de riesgo.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE VALORES OUTDOORS

4.1.1 Campo eléctrico

El gráfico 4.1 presenta la intensidad del campo eléctrico durante los tres días de medición en forma de porcentaje. Si se observa la tabla 2 detenidamente se puede ver que la intensidad del campo eléctrico es superior el día 10 de Agosto con respecto a los otros dos días. Según los datos de AEMET, este día se correspondió con el día más estable de los tres. Esta mayor intensidad del campo eléctrico, se puede deber al circuito eléctrico atmosférico global, en el cual se explicó anteriormente que el electromagnetismo acumulado en las capas altas de la atmosfera, descendía con el “Fair- Weather” o buen tiempo.

	Total acumulado por día			Media		
	07/08	09/08	10/08	07/08	09/08	10/08
C.E. (V/m²) outdoor	352	373	377	5,03	5,33	5,39
C.M. (μT) outdoor	3,28	3,57	3,49	0,046	0,051	0,049

Tabla 4.1: Suma acumulada y media de las medidas exteriores. Fuente: Elaboración propia

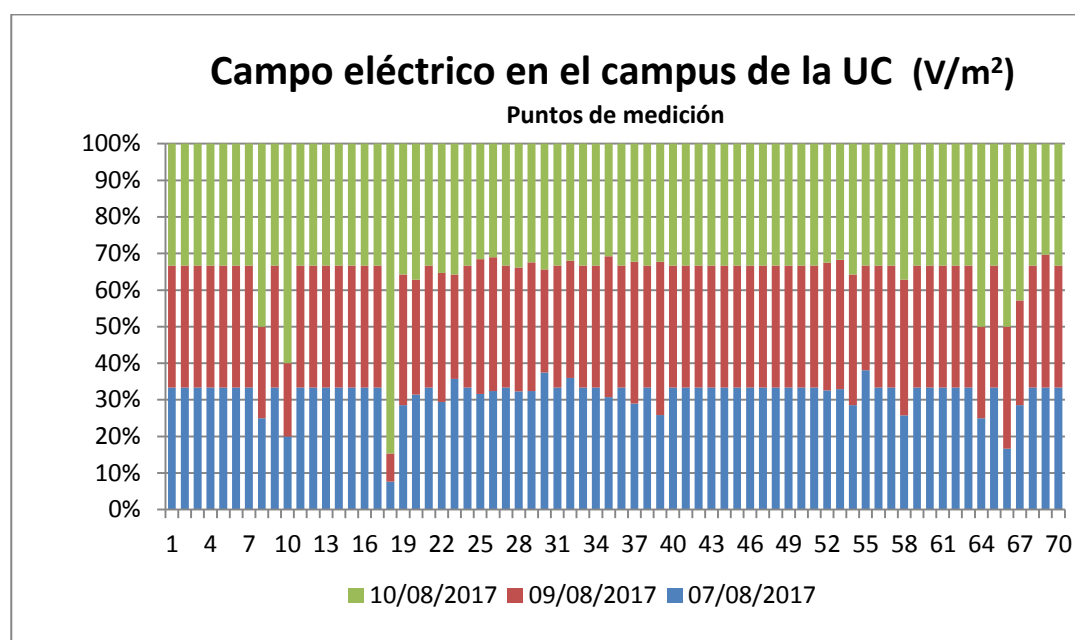


Gráfico 4.1: Intensidad del campo eléctrico en el campus de la UC. Fuente: Elaboración propia

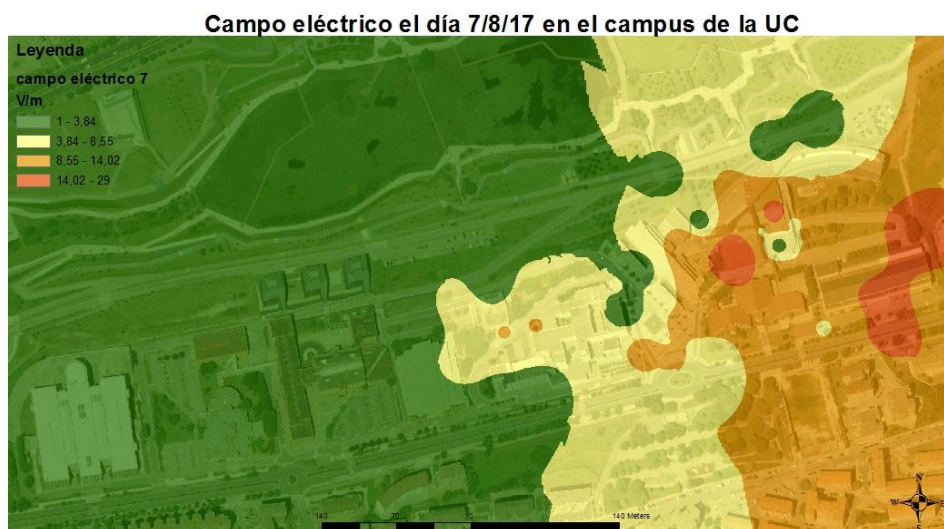
Cuando se analizan las superficies estadísticas de la intensidad del campo eléctrico generadas mediante técnicas de interpolación es destacable que la distribuciones espaciales de las diferentes intensidades, en los tres mapas, avanza con una dirección E-O y cada día esa mancha de altas intensidades avanza un poco más hacia el Oeste. Esto puede deberse a que los días de mediciones el viento predominante tenía dirección Norte y Nornordeste. Es decir, el aire provenía del mar, lo que podía provocar el transporte de aerosoles marinos, las cuales pueden generar alteraciones sobre el campo eléctrico.

Esta variación de la intensidad del campo eléctrico se puede observar en los Mapas 4.1, 4.2 y 4.3. En el mapa 4.1 se representa la intensidad del día 7 de Agosto y se puede observar que la intensidad del campo eléctrico es inferior a la de los otros dos días. Es importante mencionar que con un estudio de 3 días no se puede verificar una hipótesis, en cambio, si es posible tener una aproximación exploratoria básica que indiquen la existencia de una relación entre el campo eléctrico y las variables meteorológicas consideradas en el estudio.

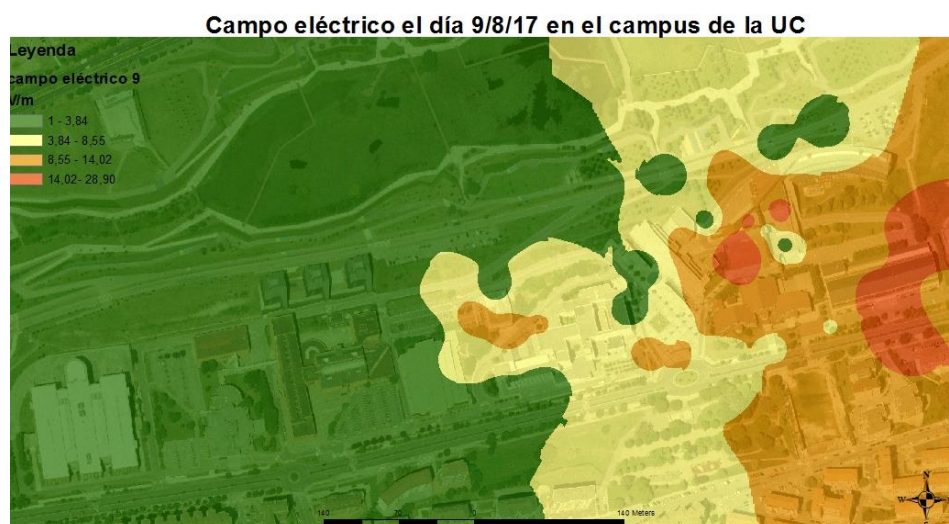
En términos generales, es visible que la mayor intensidad de campo eléctrico se concentra entre las Facultades de Física, Caminos e Industriales todos los días. Esto se puede deber a la instrumentación eléctrica que se encuentra dentro de estos edificios.

Es necesario, advertir que no existe en la actualidad una normativa que indique la intensidad de un campo eléctrico en atmósfera para que este sea perjudicial para los seres vivos. En este caso, mediante el método de interpolación IDW y la agrupación de los datos mediante natural break se ha querido hacer una distribución espacial para localizar aquellas zonas con altas y bajas intensidades de campo eléctrico.

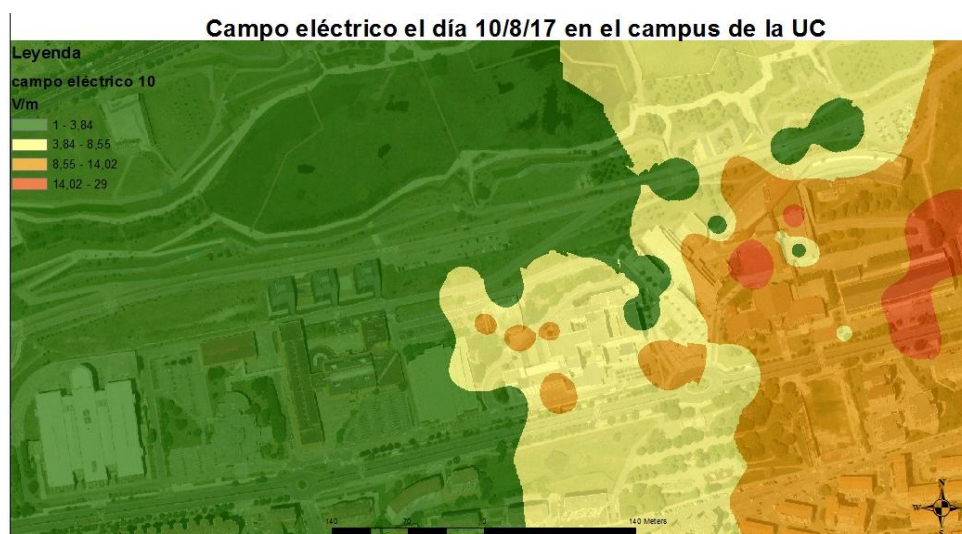
Por lo tanto, las diferentes categorías no indican intensidades necesariamente peligrosas, sino que categorizan unas mediciones para facilitar la visualización de posibles variaciones



Mapa 4.1: Campo eléctrico en el campus de la UC el día 7/8/17 Fuente: Elaboración propia



Mapa 4.2: Campo eléctrico en el Campus de la UC el día 9/8/17. Fuente: Elaboración propia



Mapa 4.3: Campo eléctrico en el Campus de la UC el día 10/8/2017. Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Campos magnéticos

En este caso, sí se dispone una normativa preventiva por parte de la OMS. Por ello los intervalos utilizados, se corresponden con una realidad y un riesgo real. Por lo tanto, las mediciones del campo magnético deberían tomarse como una información a tener en cuenta. El grafico 4.2 y la Tabla 4.1 muestran los valores acumulados cada día y la variación del campo magnético. Tanto la suma acumulada como la media ofrecen resultados muy similares.

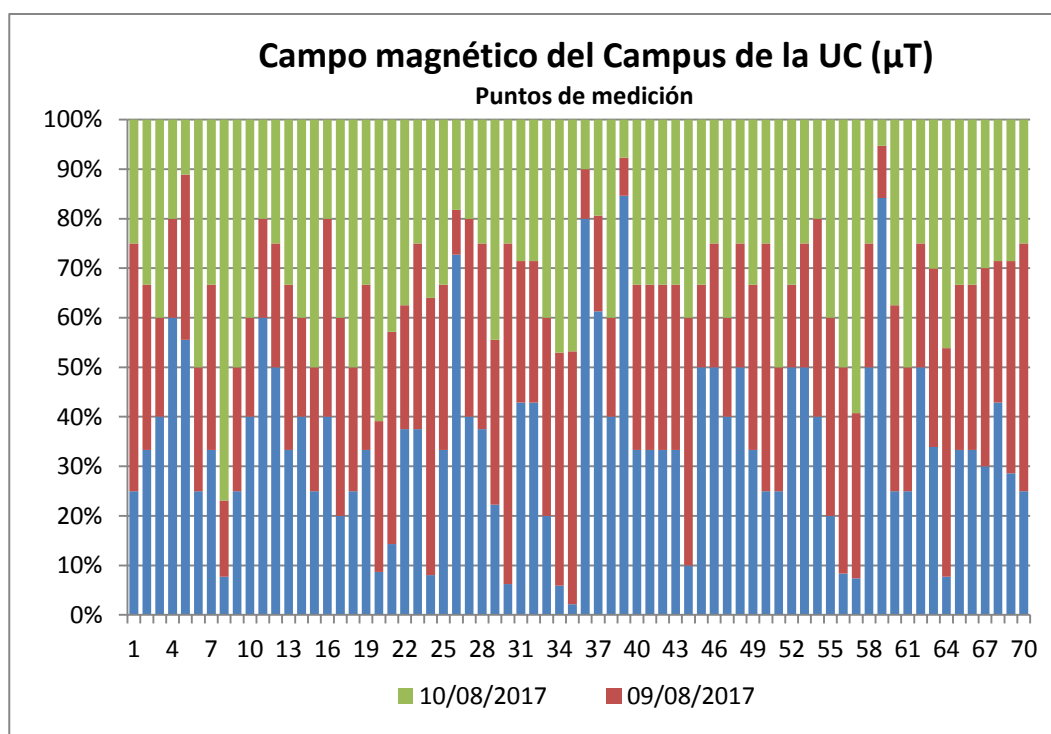
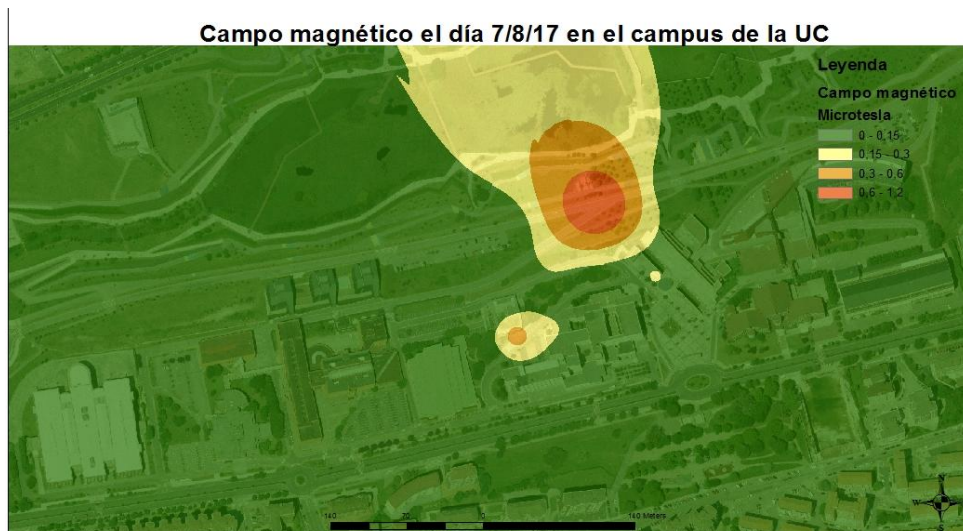
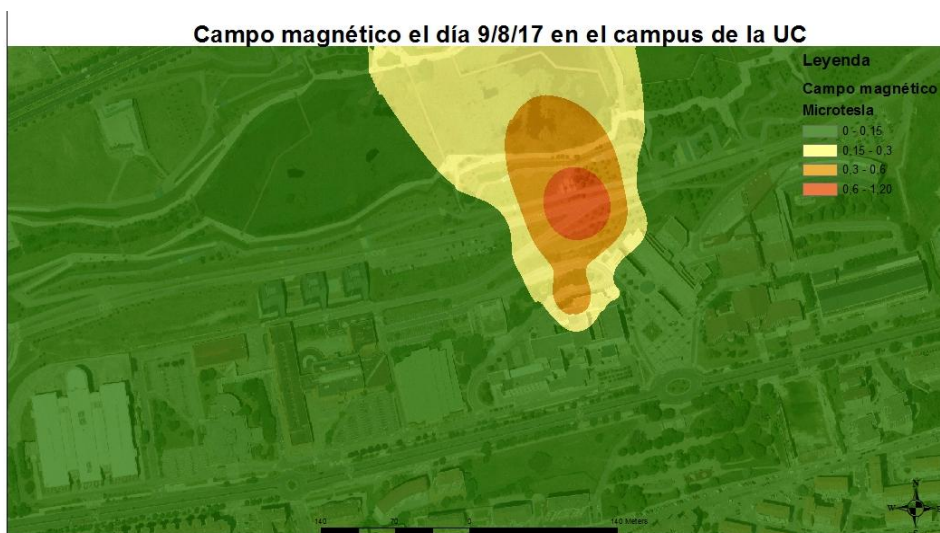


Grafico 4.2: Campo magnético en el Campus de la UC el día 7/8/2017. Fuente: Elaboración propia

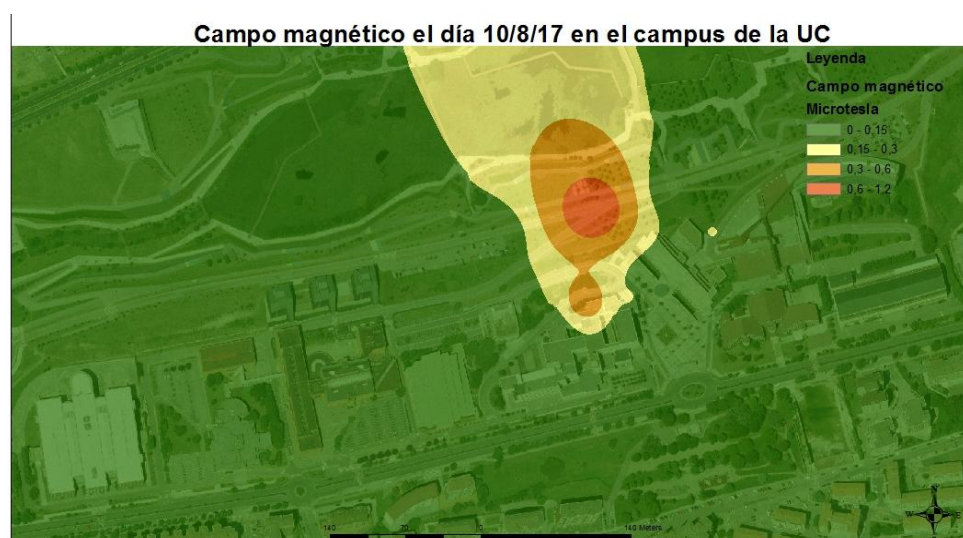
Aún así, se puede apreciar una mayor actividad del campo magnético el día 9 de Agosto, con un valor acumulada de $3,57 \mu\text{T}$, mientras que el día 10 de Agosto con unas condiciones meteorológicas similares tiene un valor acumulado de $3,49 \mu\text{T}$. En ambos días, se puede ver una mayor actividad magnética si se compara con el día 7 de Agosto, el cual nos ofrece un valor acumulado de $3,28 \mu\text{T}$. Si observamos en el Anexo 8.1 la tabla de insolación se observa que el día con mayor insolación fue el día 9 de Agosto, coincidiendo con el día con mayor intensidad de campo magnético. Esto puede tener su relación, ya que el campo electromagnético terrestre tiene una estrecha relación con el Sol y las partículas que llegan de él.



Mapa 4.4: Campo magnético en el Campus de la UC el día 7/8/2017. Fuente: Elaboración propia



Mapa 4.5: Campo magnético en el Campus de la UC el día 9/8/2017. Fuente: Elaboración propia



Mapa 4.6: Campo magnético en el Campus de la UC el día 10/8/2017. Fuente: Elaboración propia

Si se observan los mapas del campo magnético es posible ver que la mayor intensidad se localiza en la carretera que circula entre las universidades y el parque de las Llamas. Es una zona muy limitada y en la cual se alcanzan campos magnéticos con una intensidad tan elevada que pueden resultar perjudiciales para la salud humana. Sin embargo, como ya hemos señalado previamente, para poder hablar de riesgo real, hay que tener en cuenta el tiempo de exposición a dicho campo, y en este caso no debe ser elevado, ya que se corresponde a un paso de cebra, por lo que se entiende que es una zona de paso, en la cual, no se permanecerá más de 1 ó 2 minutos.

4.2 PRESENTACIÓN DE VALORES INDOORS

4.2.1 Campo eléctrico

A continuación, se presentan los resultados de las medidas interiores. En este caso utilizaremos unas herramientas de análisis diferente, debido a la particularidad de cada entorno. Como el edificio se puede considerar como un elemento aislante, se utilizarán herramientas estadísticas como la media, desviación típica o amplitud. Por su parte, la cartografía se realizará en torno a la desviación típica y la localización de aquellos puntos con altas intensidades, de esa manera, se podrá observar si han existido grandes variaciones en el campo electromagnético durante los tres días de mediciones y además localizar aquellas zonas en las que el campo electromagnético pueda ser una amenaza para nuestra salud.

Para ello, se utilizará el método de interpolación IDW, el cual simplificará la lectura de los resultados haciendo más fácil la visualización de los resultados. A su vez, se utilizará el método de agrupación por *natural breaks* que es la forma que tiene Arcgis de agrupar los elementos por defecto.

El campo eléctrico es muy variable, y dependiendo de la existencia o no de aparatos electrónicos las lecturas de la intensidad del campo pueden tener grandes variaciones. Si se observa el cartograma anterior, se puede apreciar que el 9 de Agosto ha sido el día en el que la intensidad del campo eléctrico ha sido menor. Esto no quiere decir, que no existan puntos de medición este día que no hayan superado a los otros dos días de mediciones, sino que haciendo una lectura general, se puede decir, que fue el día con menor intensidad eléctrica.

A continuación, se analizará el cuadro con medidas estadísticas sobre el campo eléctrico. En este caso se utilizará la suma acumulada y la media. Estos estadísticos nos proporcionaran una perspectiva un poco más clara de la situación eléctrica dentro del edificio Interfacultativo.

En la Tabla 3 se muestra una gran variación entre la intensidad media de cada día. Esta gran variación entre unos días y otros puede ser debida a que en dicha fecha se estaban realizando diferentes reformas dentro del edificio y para ellas se utilizaron herramientas eléctricas. Esto puede generar esa variación entre las lecturas de los diferentes días. Otra de las posibilidades es que se encontrasen aparatos electrónicos encendidos cerca de los puntos de medición, lo cual, provocaría un aumento de la intensidad del campo eléctrico.

Por otra parte, se puede asegurar que dicha variación no es debida a la influencia del exterior, porque el edificio hace de elemento aislante frente al campo eléctrico. A su vez, existe una gran diferencia de intensidad en dos días con unas características atmosféricas similares.

	Total acumulado			Media		
	07/08/2017	09/08/2017	10/08/2017	07/08/2017	09/08/2017	10/08/2017
C.E. (V/m²) indoor	950	722	1575	5,14	3,90	8,51
C.M. (μT) indoor	6,01	5,23	5,42	0,03	0,03	0,03

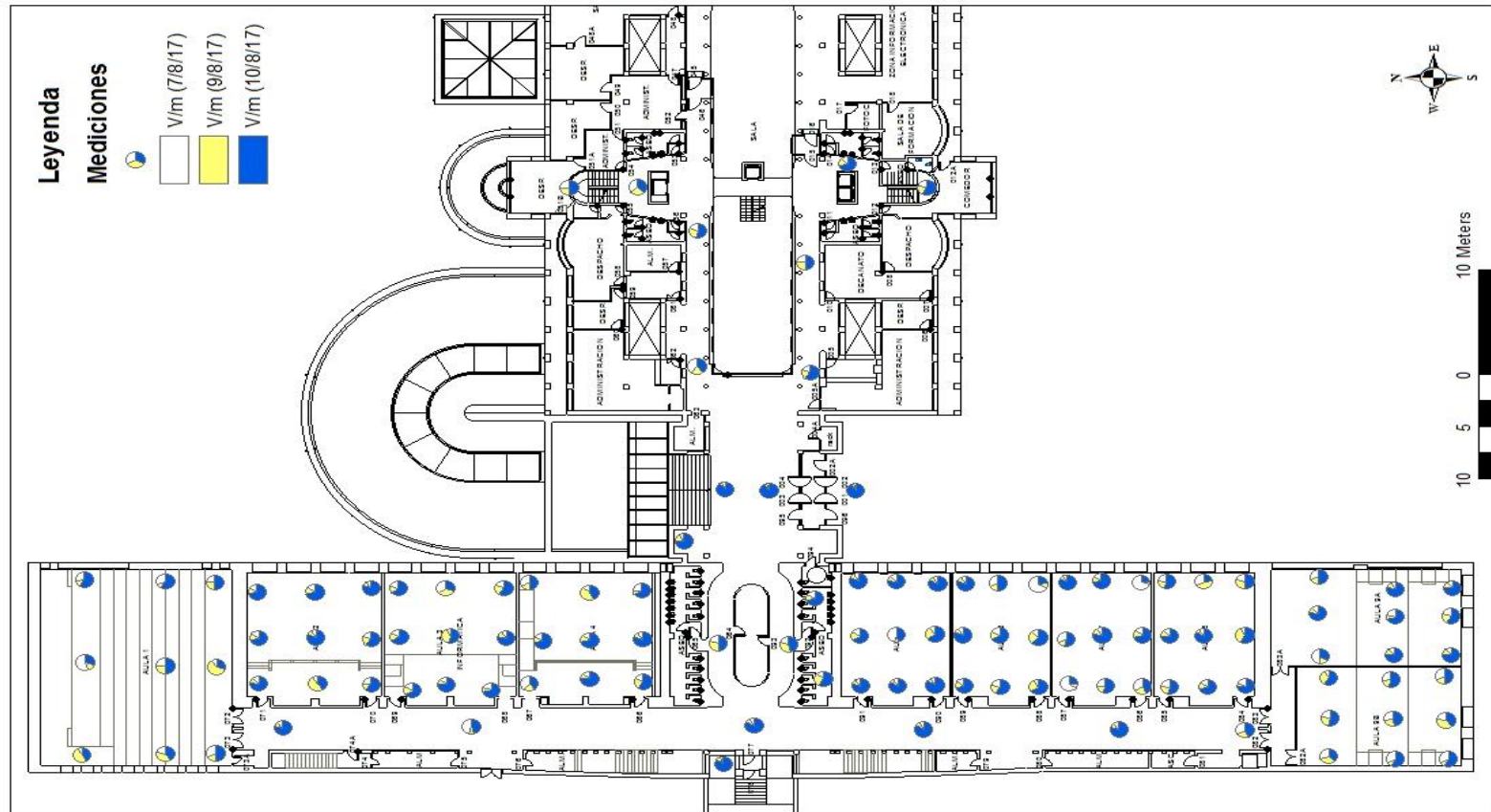
Tabla 4.2: Suma acumulada y media de las medidas interiores. Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en el cartograma de a continuación (Mapa 4.7) las mediciones se han concentrado en la entrada y en el ala Oeste del edificio Interfacultativo. Este hecho se debió a dos motivos:

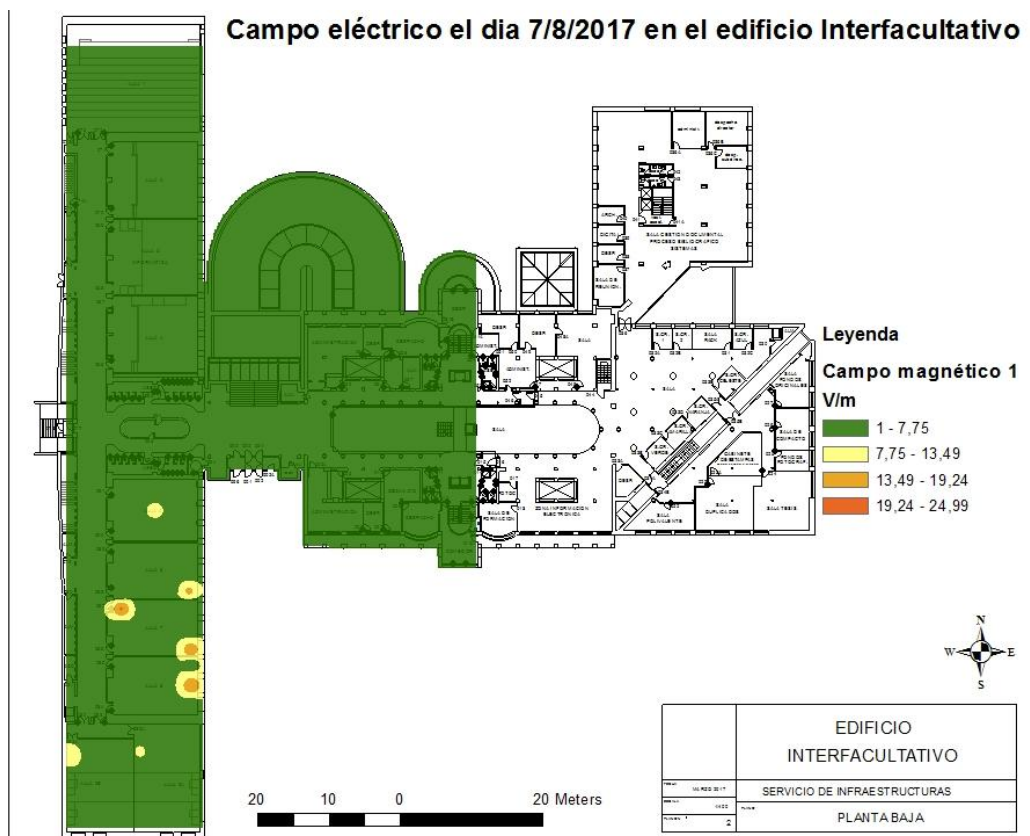
- El primero, debido a las obras realizadas en el edificio, lo cual, impedía entrar a la biblioteca.
- El segundo, se debió a que las zonas de medición, son aquellas zonas en las que mayor número de personas se concentra a lo largo del curso escolar. Por lo tanto, son las áreas potencialmente más peligrosas.

A su vez, en el cartograma se puede observar que las medidas tomadas el día 10 de Agosto, resultan ser las de mayor intensidad de campo eléctrico. Llegando a suponer en alguno de los puntos el 90% de la intensidad acumulada en los tres días de medición.

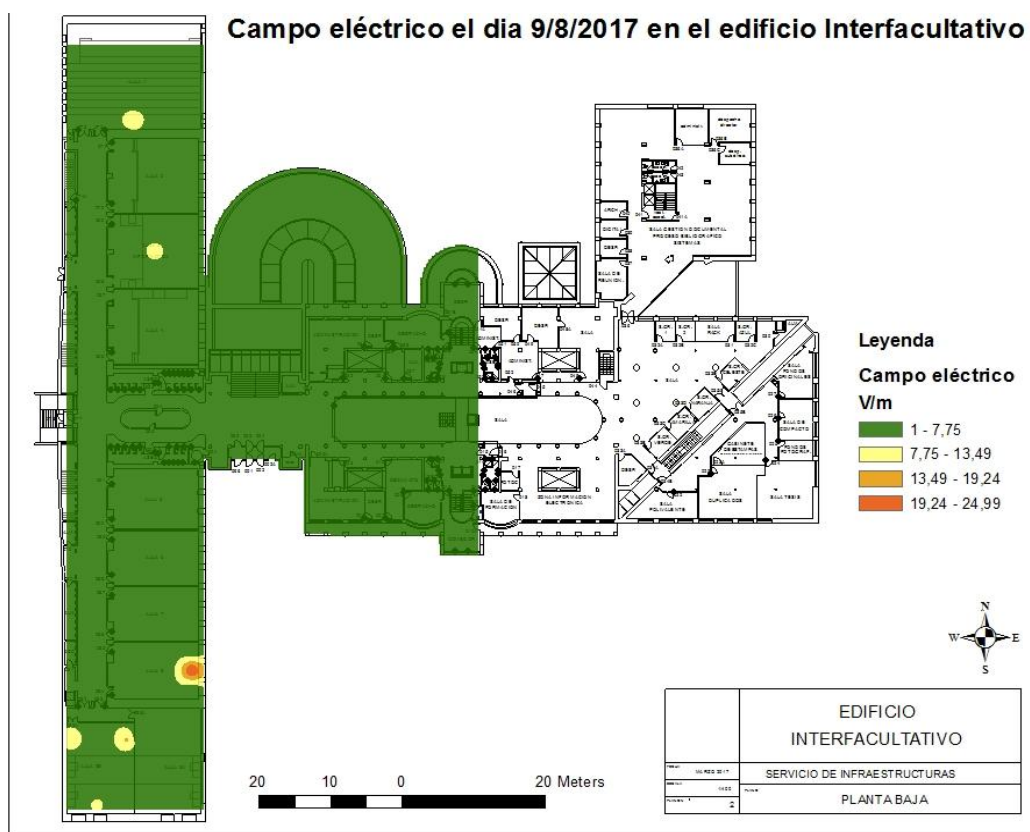
Cartograma del campo eléctrico en el edificio Interfacultativo



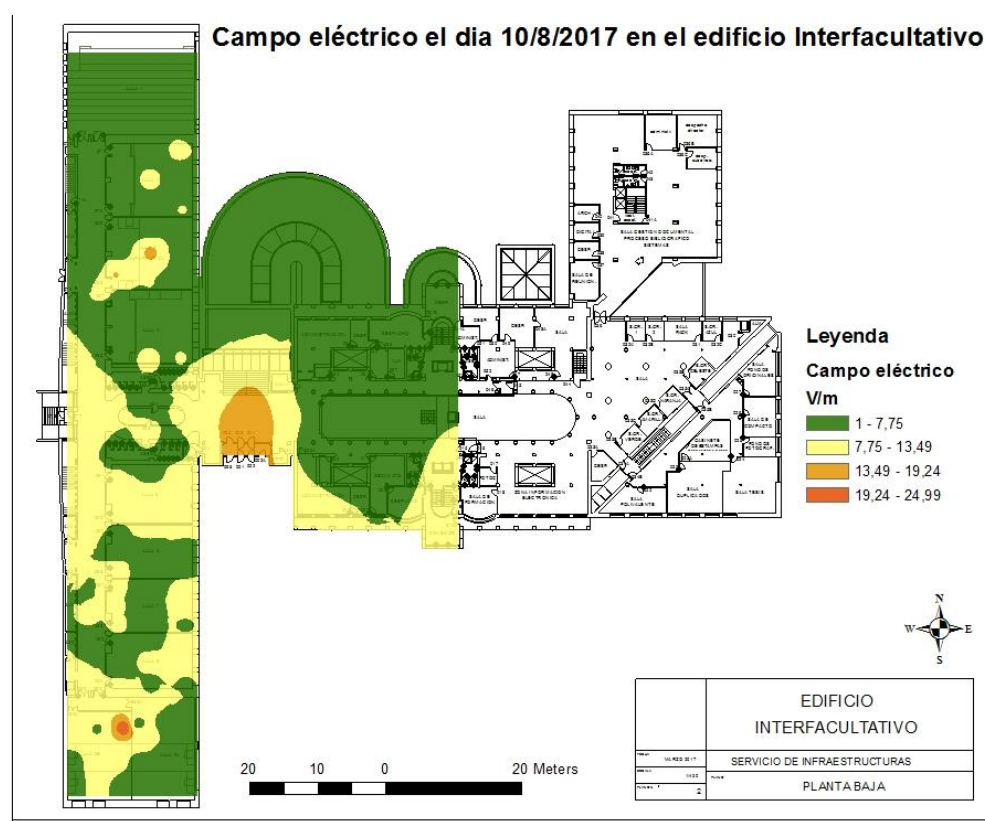
Los Mapas 4.8, 4.9 y 4.10 representan el campo eléctrico de los tres días de mediciones. Los dos primeros días tienen un comportamiento muy parecido, en los cuales apenas se observan grandes intensidades de campo eléctrico. Sin embargo, el día 10 de Agosto, (Mapa 12) existen en gran parte del edificio Interfacultativo unas intensidades demasiado altas para la situación experimentada los días anteriores. Esta variación de intensidad entre los días 7 y 9 de Agosto y el día 10 de Agosto, permite afirmar que el edificio Interfacultativo es un elemento aislante del campo eléctrico, a su vez, se puede afirmar que debido a las obras existentes esos días, el campo eléctrico se vio alterado, dando como resultado el mapa 12



Mapa 4.8: Campo eléctrico en el edificio Interfacultativo el día 7/8/2017. Fuente: Elaboración propia

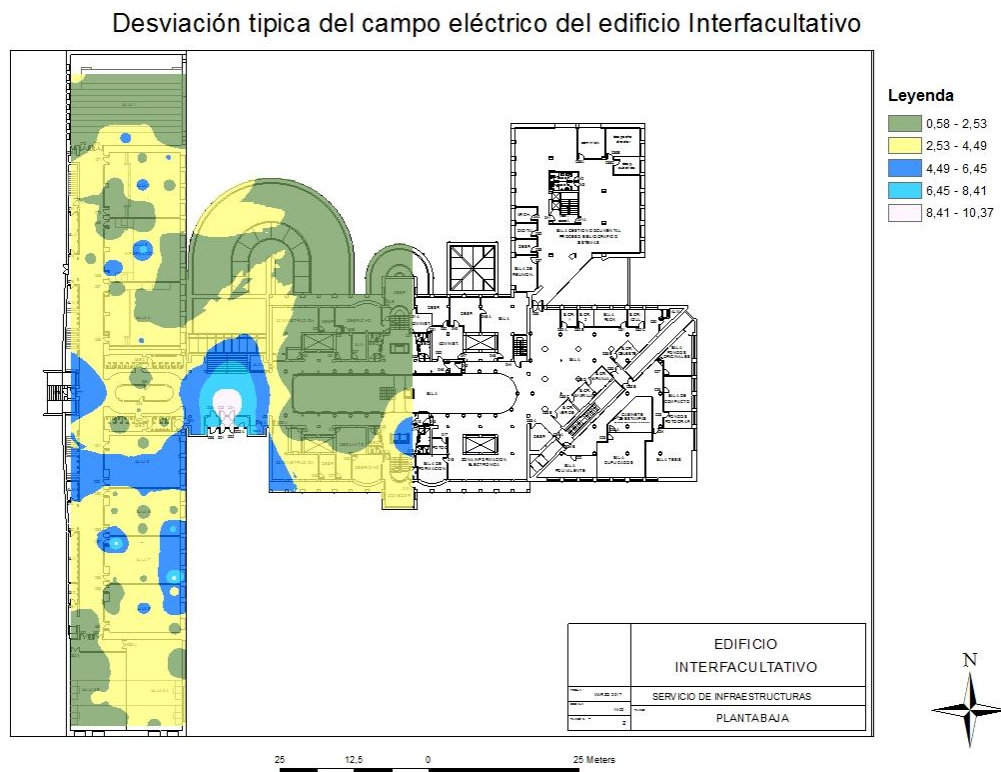


Mapa 4.9: Campo eléctrico en el edificio Interfacultativo el día 9/8/2017. Fuente: Elaboración propia



Mapa 4.10: Campo eléctrico en el edificio Interfacultativo el día 10/8/2017. Fuente: Elaboración propia

En el Mapa 4.11 se muestran los valores de la desviación típica del campo eléctrico, se percibe claramente que el campo eléctrico ha sufrido una importante variación de la intensidad durante los tres días de mediciones entre 1 y 194 V/m², y se ve la distribución espacial de esa dispersión de los valores en cada punto.



Mapa 4.11: Desviación estándar del campo eléctrico en el edificio Interfacultativo. Fuente: Elaboración propia

La mayor variación de intensidad eléctrica se produce en torno a las puertas de entrada del Interfacultativo, así como en las aulas con grandes ventanales. Esto es debido a que son zonas que tienen una cierta exposición con el exterior a corrientes de aire y a la entrada de radiación solar, por lo que dependiendo si se encuentran abiertas o cerradas, en el caso de las ventanas, o hay mucho transito de gente, en el caso de las puertas, puede variar mucho de una medición de otra. En el mapa se observa que aunque tratemos las medidas de interiores, como medidas realizadas en un entorno aislado, la realidad no se corresponde plenamente con la teoría.

4.2.2 Campo magnético

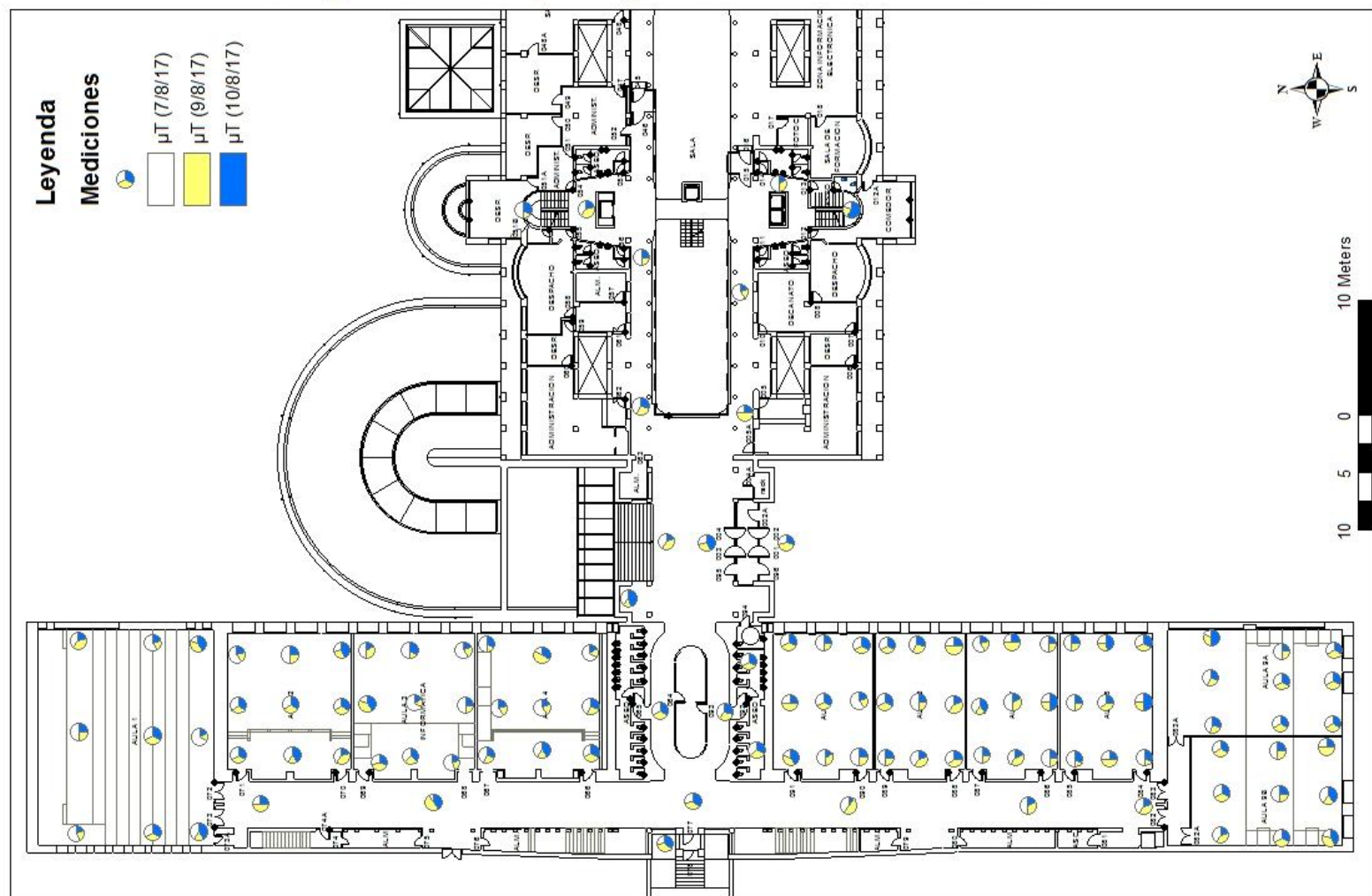
En términos generales la evolución temporal de los valores medios de campo magnético en el edificio Interfacultativo es constante en los tres días analizados como se corresponde con un parámetro tan global como este.

Dentro de las mediciones de cada día, si es posible encontrar variaciones significativas entre los distintos puntos muestrales, registrándose valores que van desde 0,01 a 1,03 μT . Esta variación espacial puede ser debida a los componentes artificiales del edificio.

Si se observa el cartograma del campo magnético (mapa 14) en el edificio Interfacultativo, se puede ver que el día 9 de Agosto tiene mayores valores porcentuales respecto al total que en el caso del campo eléctrico. De este hecho, se pueden sacar dos lecturas. Una de ellas, es que al no considerarse el edificio como un elemento aislante para el campo magnético, este ha podido entrar dentro del edificio y alterar el campo existente dentro del edificio. Por otro lado, podría tratarse de la poca variación del campo magnético, lo que supondría una mayor visión a nivel porcentual.

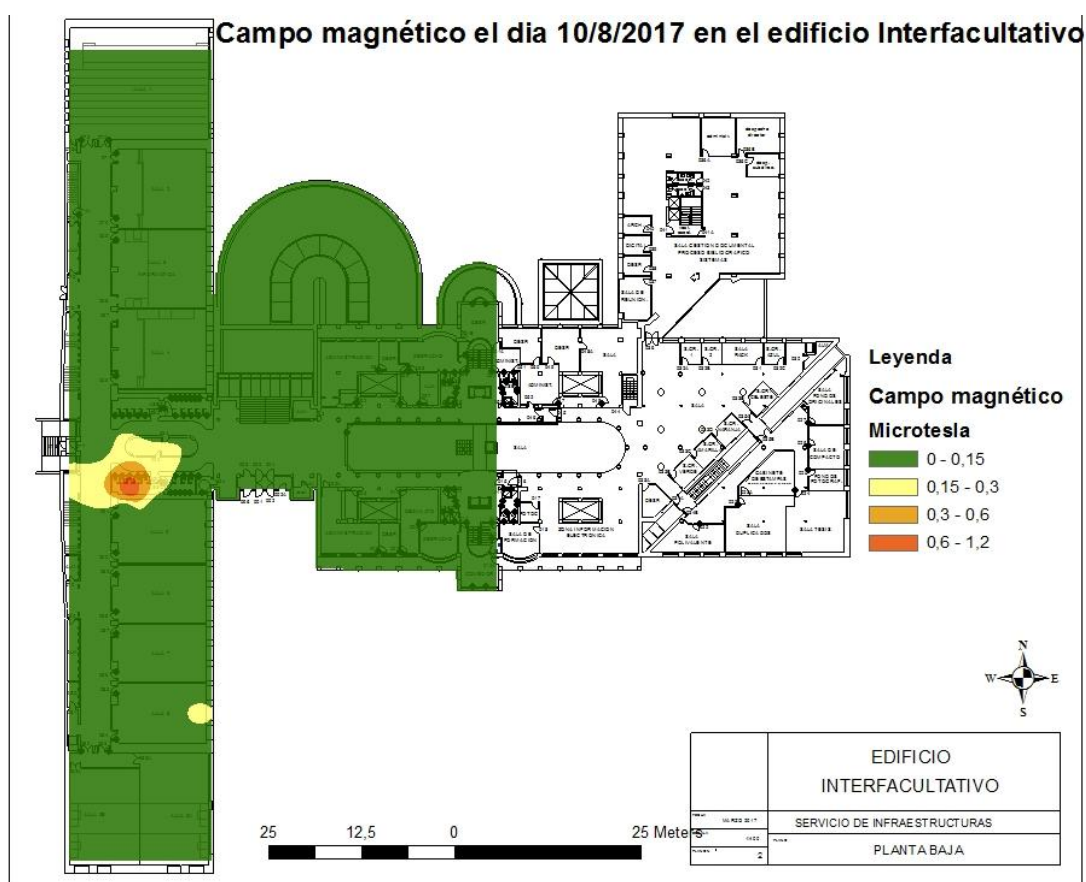
En el mapa 15 se puede observar que el campo magnético se concentra en el baño de hombres del piso 0 del edificio Interfacultativo. Esto se debe al gran campo magnético generado en uno de sus desagües. Este campo puede ser provocado por la corriente de agua o aire que circula por él, ya que la velocidad y la posible estrechez del conducto provocan que los átomos interaccionen entre ellos provocando un campo magnético muy superior al encontrado en el resto del edificio. Por otra parte, encontramos un pequeño foco de alta intensidad del campo magnético en el aula 8. Para este fenómeno, no tengo explicación, aunque probablemente se debería a la cercanía de algún elemento electrónico, el cual alteraría ese campo magnético.

Cartograma del campo magnético en el edificio Interfacultativo



Mapa 4.12: Cartograma del campo magnético en el edificio Interfacultativo. Fuente: elaboración propia

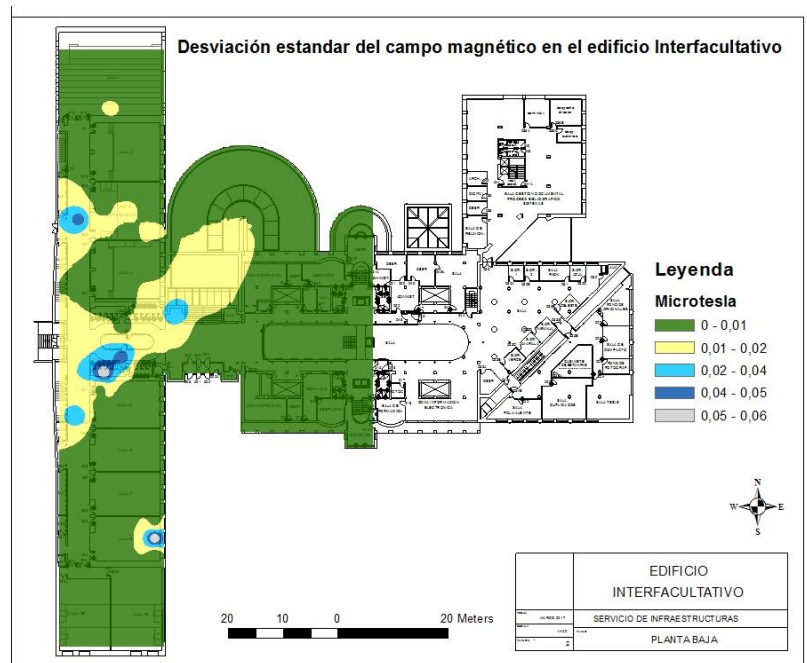
En el mapa del día 10 que se muestra a continuación se puede contemplar que el campo magnético es muy poco variable. Por ello no se ha representado los mapas de los días 7 y 9 al ser muy similares al día mostrado. En términos generales, la variación sufrida por el campo magnético es muy pequeña. A su vez, se puede observar que la variación del campo magnético se concentra en la pared Oeste del edificio Interfacultativo, adentrándose hacia el interior de este. Esta variación del exterior al interior puede coincidir con la capacidad del campo magnético para atravesar materiales, lo que puede provocar variaciones. También son visibles pequeños puntos en los que existe una gran variabilidad del campo magnético durante los tres días de mediciones.



Mapa 4.13: Campo magnético en el edificio Interfacultativo el día 10/8/2017.

Fuente: Elaboración propia

En el Mapa 4.14 se presentan la dispersión de las mediciones del campo magnético durante los tres días. Las mayores desviaciones alcanzan valores de hasta 0,06 μT . Este dato, corrobora que el campo magnético tiene muy poca variabilidad.



Mapa 4.14: Desviación estándar del campo magnético en el edificio Interfacultativo. Fuente: Elaboración propia

Si comparamos los mapas de los diferentes campos, se ve que mientras el campo eléctrico ha variado considerablemente durante los tres días de mediciones, el campo magnético ha sufrido pequeñas variaciones en puntos muy concretos. Esto, en cierta medida, es contrario a lo comentado al comienzo de este trabajo según lo cual, si el campo eléctrico aumentaba, el magnético también. Lo que ocurre, es que el campo eléctrico reacciona inmediatamente y sufre un pico importante, mientras que el campo magnético varía paulatinamente, generando esas diferencias entre las variaciones de uno y otro.

5. CONCLUSIONES

Los estudios realizados sobre el campo electromagnético son de gran interés y relevancia, ya que su mayor actividad se produce en la Biosfera, por lo tanto, es uno de los elementos que afectan a los seres vivos. Este tipo de campos en la naturaleza tiene gran importancia, debido a su papel en múltiples procesos geo-bio-físicos a veces positivos y otras veces negativos. El problema se hace aún más complejo con la aparición de la electricidad artificial y más concretamente con la invención de los aparatos electrónicos y su expansión global. Estos aparatos generan sus propios campos electromagnéticos los cuales se combinan con el campo generado por nuestro planeta. Esto provoca que en ciertas circunstancias estos campos lleguen a tener una intensidad superior a la aconsejada ($0,3 \mu\text{T}$) lo que en ocasiones provoca malestares o enfermedades en los seres vivos. Esta combinación del campo electromagnético terrestre y el artificial recibe el nombre de contaminación electromagnética.

En la actualidad, las investigaciones sobre los campos electromagnéticos están adquiriendo gran importancia en los diferentes sectores de la ciencia y claramente es una componente importante dentro de la Geografía, la cual estudia la interacción del hombre y su entorno. Los campos electromagnéticos que afectan a los seres vivos son evitables. Simplemente debería de existir la posibilidad de realizar mediciones en los diferentes lugares de ocio, trabajo o hábitat para así poder localizar estos puntos con intensidades superiores a las recomendadas. Los síntomas que experimentan las personas más sensibles a estos campos pueden variar desde un simple dolor de cabeza a un cáncer dependiendo de la intensidad, del tiempo de exposición y la vulnerabilidad del individuo.

El campo eléctrico y magnético está directamente relacionado, es decir, si aumenta el campo eléctrico, aumenta el campo magnético (circunstancia que no ocurre al contrario). Sin embargo, este aumento o disminución de la intensidad no es linealmente proporcional, ya que el campo eléctrico tiene una mayor variabilidad.

En las medidas exteriores se ha comprobado que existe una relación entre el campo eléctrico y los fenómenos meteorológicos, debido al funcionamiento del circuito eléctrico atmosférico. Los días con estabilidad atmosférica existe un aumento del

campo eléctrico, mientras que ocurre lo contrario en los días en los que existe inestabilidad atmosférica.

Otra de las conclusiones a las que se han llegado es que la insolación es un factor que hace aumentar o disminuir el campo eléctrico. Ambos factores están directamente relacionados.

Por su parte, con las medidas de zonas interiores, se verificó que los edificios debido a su composición, hacen de elemento aislante para el campo eléctrico, sin embargo no ocurre lo mismo con el campo magnético. A su vez, se ha comprobado que los aparatos electrónicos generan variaciones dentro del campo electromagnético.

El campo electromagnético varía espacialmente en gran medida, esto quiere decir que en muy poca distancia podemos pasar de una zona con una alta intensidad y perjudicial para la salud a una zona con baja intensidad e inofensiva.

Este trabajo, ha permitido conocer un poco mejor la problemática existente para medir el campo electromagnético y su interrelación con aspectos biológicos y de ese modo generar una base de estudio preliminar que favorecerá posibles nuevos estudios dentro del campo de la Geografía en esta línea, e incluso llegar a colaborar con otros campos de la ciencia para realizar un estudio más profundos.

6. INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: EXPERIMENTO DE BENJAMÍN FRANKLIN. FUENTE: LOS ALBORES DE LA ELECTRICIDAD ATMOSFÉRICA, J. PELKOWSKI.....	6
FIGURA 2.2: ESTRUCTURA DE UN ÁTOMO. FUENTE: HTTP://DIEGOIGUNA.BLOGSPOT.COM	8
Figura 2.3: campo eléctrico. fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/campo_el%c3%a9ctrico	10
figura 2.4: circuito eléctrico global. fuente: ucarconnect.ucar.edu/	14
FIGURA 2.5: CAMPO MAGNÉTICO. FUENTE: HTTP://WWW.ESCUELAPEDIA.COM/EL-CAMPO-MAGNETICO-TERRESTRE.17	
figura 2.6: campo magnético de la tierra. fuente: http://danielesquivel.net/2016/06/29/magnetismo-terrestre/	18
FIGURA 2.7: ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO. FUENTE: HTTPS://SP.DEPOSITPHOTOS.COM	20
FIGURA 2.8: ELECTORRECEPTORES DE LOS TIBURONES. FUENTE: HTTP://WWW.SHARKDEFENSE.COM/OTHER-RESEARCH/SMART-HOOKS/	21
FIGURA 2.9: MAPA DE RADÓN EN ESPAÑA. FUENTE: WWW.CSN.ES/MAPA-DE-ZONIFICACION-POR-MUNICIPIO.....	24
figura 3.1: esquema de trabajo. fuentes: elaboración propia.....	27
figura 3.2: esquema de fuentes. fuente: elaboración propia	27
tabla 3.1: características del medidor ambiental. fuente: ab, e. (n.d.). magnetic field logger ml-1 1–12.....	28
mapa 3.1: puntos de medición en el campus universitario de la uc. fuente: elaboración propia.....	30
mapa 3.2. puntos de medición en el edificio interfacultativo. fuente: elaboración propia.....	31
tabla 4.1: suma acumulada y media de las medidas exteriores. fuente: elaboración propia.....	33
gráfico 4.1: intensidad del campo eléctrico en el campus de la uc. fuente: elaboración propia.....	33

mapa 4.1: campo eléctrico en el campus de la uc el día 7/8/17	
fuelle: elaboración propia.....	35
mapa 4.2: campo eléctrico en el campus de la uc el día 9/8/17.	
fuelle: elaboración propia.....	35
mapa 4.3: campo eléctrico en el campus de la uc el día 10/8/2017.	
fuelle: elaboración propia.....	35
grafico 4.2: campo magnético en el campus de la uc el día 7/8/2017.	
fuelle: elaboración propia.....	36
mapa 4.4: campo magnético en el campus de la uc el día 7/8/2017.	
fuelle: elaboración propia.....	37
mapa 4.5: campo magnético en el campus de la uc el día 9/8/2017.	
fuelle: elaboración propia.....	37
mapa 4.6: campo magnético en el campus de la uc el día 10/8/2017.	
fuelle: elaboración propia.....	37
tabla 4.2: suma acumulada y media de las medidas interiores.	
fuelle: elaboración propia.....	39
mapa 4.7: cartograma del campo eléctrico en el edificio interfacultativo.	
fuelle: elaboración propia.....	40
mapa 4.8: campo eléctrico en el edificio interfacultativo el día 7/8/2017.	
fuelle: elaboración propia.....	41
mapa 4.9: campo eléctrico en el edificio interfacultativo el día 9/8/2017.	
fuelle: elaboración propia.....	4;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
mapa 4.10: campo eléctrico en el edificio interfacultativo el día 10/8/2017.	
fuelle: elaboración propia.....	42
mapa 4.11: desviación estándar del campo eléctrico en el interfacultativo.	
fuelle: elaboración propia.....	4;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
mapa 4.12: cartograma del campo magnético en el edificio interfacultativo.	
fuelle: elaboración propia.....	45
mapa 4.13: campo magnético en el edificio interfacultativo el día 10/8/2017.	
fuelle: elaboración propia.....	46
mapa 4.14: desviación estándar del campo magnético en el interfacultativo.	
fuelle: elaboración propia.....	47

7. BIBLIOGRAFÍA

Anónimo. (2007). La atmósfera: Estructura, composición química y propiedades físicas., 1–28. Retrieved from http://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-pau-bachillerato/tema_3_.pdf

Baxter, R., Hastings, N., Law, a., & Glass, E. J. . (2008). [*No Title*]. *Animal Genetics* (Vol. 39).

Bees and flowers communicate using electrical fields, researchers discover. (2013). Retrieved December 3, 2018, from <https://phys.org/news/2013-02-bees-electrical-fields.html>.

Cabal, C., Otero, G., & Acuña, J. (2005). Informe sobre Campos Electromagnéticos y la Salud Humana. *Instituto de Ing. Eléctrica*. Retrieved from <http://ohm.fing.edu.uy/relacionamiento/comunidad/rfsalud/emfsaludhumana.pdf>.

Cap. 8: Campo magnético y fuerzas magnéticas. (n.d.). Retrieved from http://www.astro.ugto.mx/~rcoziol/Cursos/EM/EM2013s2_cap8.pdf.

Clarke, D., Whitney, H., Sutton, G., & Robert, D. (2013). Detection and learning of floral electric fields by bumblebees. *Science (New York, N.Y.)*, 340(6128), 66–69. <https://doi.org/10.1126/science.1230883>.

Conde, F. M. (2007). Tema 3 : Campo Eléctrico Tema 3 : Campo Eléctrico Índice.

De, E., & Básicos, C. (n.d.). Cuadernos Didácticos Básicos.

El, C. (2006). Unidad I : Carga Y Campo Eléctrico, 1–49.

Facultad de educación campus de Segovia grado en educación primaria Trabajo Fin de Grado Curso 2013-2014 Análisis de los recursos didácticos para el estudio del cambio climático en educación primaria. (2014).

Fernández Muerza, A. (2017). Luis Quindós, experto en contaminación por radón | EROSKI CONSUMER. Retrieved December 6, 2018, from http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2017/01/20/224865.php.

- García, S. I. (2005). La Salud Humana Y Los Campos Electromagnéticos De Frecuencia Extremadamente Baja (Cem-Feb). *Asociacion de Toxicologia Argentina*, 1–39. <https://doi.org/10.1111/ejn.13186>.
- Global, V., & Electricidad, D. E. L. A. (n.d.). 2. visión global de la electricidad atmosférica, 13–28.
- Herrero Luque, D., & Baraja Rodríguez, E. (2017). El estudio geográfico de la energía: Una aproximación histórica al estado de la cuestión. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, (74), 229–250. <https://doi.org/10.21138/bage.2453>.
- Inducción, A., & Flujo, D. (2008). Unidad Iv : Campo Magnético, 1–28.
- Jiménez, A. M. (1998). El debate energía y medio ambiente, tema de estudio en geografía. *Espacio, Tiempo y Forma, Serie VI, Geografía*, 59–77.
- King, B., Hu, Y., & Long, J. A. (2018, May). Electoreception in early vertebrates: survey, evidence and new information. (A. Smith, Ed.), *Palaeontology*. <https://doi.org/10.1111/pala.12346>.
- Loque, B. (n.d.). 2.1 Campo eléctrico, 1–12.
- Magn, C. (2007). Tema 6: Campo Magnético.
- Merrill, R. T. (2010). *Our magnetic Earth : the science of geomagnetism*. The University of Chicago Press. Retrieved from <https://curiosoando.com/que-fuerza-tiene-el-campo-magnetico-terrestre>.
- Miguel, X., & Dios, B. (n.d.). *El radón: un problema de Salud Pública*. Retrieved from <http://www.elradon.com/web/wp-content/uploads/2014/05/El-radon-un-problema-de-salud-publica11.pdf>.
- Ministerio de Industria Energía y Turismo. (2015). Boletín oficial del estado. *Resolución de 18 de Diciembre de 2015*, 119723–119944. <https://doi.org/BOE-A-2012-5403>.
- Módulo 1 : Electrostatica Campo eléctrico Campo eléctrico. (2013).
- Otín, D., Artigas García, F., Recolons Martos, D., Comerón Tejero, J., & Canal Bienzobal, A. (1998). Campos electromagnéticos, 465. Retrieved from <http://fieee.zoomblog.com>.
- Ortner, M. (2004). A la velocidad del dinero, 2.

- Parteaguas, E. L., & Siglo, D. E. L. (n.d.). El Magnetismo Terrestre, 7–10.
- Pelkowski, J. (2006). Los albores de la electricidad atmosférica en las calendas de Benjamin Franklin the dawn of atmospheric electricitv in the times of Benjamin Franklin, 146–160.
- P., Biol, T., Radiaci, I., & Gamma, R. (n.d.). la exposición a campos electromagnéticos en seres, 9–41.
- Sarachu, E. (2017). El Radón, ¿un gas noble o no tan noble? Retrieved December 6, 2018, from <https://www.caloryfrio.com/ferias/jornadas-tecnicas/radon-gas-noble-o-no-tan-noble.html>.
- Sciencies, B. (1999). Las cometas y el estudio de la electricidad atmosférica., 1–32.
- D, Gopalakrishnan, V, Singh, R. P, Kamra, A. K., Singh, S., Pant, V., ... Singh, A. K. (2007). The atmospheric global electric circuit: An overview. *Atmospheric Research*, 84(2), 91–110. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2006.05.005>.
- Socialista, G. (2011). Peligros potenciales de los campos electromagnéticos y sus efectos sobre el medio ambiente Proyecto de Resolución Exposición de Motivos del Sr . Huss , Ponente Introducción Antecedentes del debate La creciente preocupación en Europa Efectos sobre el medio, 1–15.
- Solano, M. A., & Sáiz, J. (2010). Efectos biológicos del campo electromagnético. *Universidad de Cantabria*, 1–37. <https://doi.org/10.1111/fcp.12070>
- Stroud, E. M. (2011). New Fishing Hook Reduces Shark Catch | Research In Action. Retrieved December 6, 2018, from <https://www.livescience.com/13456-hook-reduces-shark-catch-ria-110318.html>.
- Ulate, G. V. (n.d.). La geografía y el análisis del medio natural.
- Zapka, M., Heyers, D., Hein, C. M., Engels, S., Schneider, N.-L., Hans, J., ... Mouritsen, H. (2009). Visual but not trigeminal mediation of magnetic compass information in a migratory bird. *Nature*, 461(7268), 1274–1277. <https://doi.org/10.1038/nature08528>.

8. ANEXOS

8.1 DATOS METEOROLÓGICOS

Humedad

AÑO	MES	DIA	LONGITUD	LATITUD	HU00	HU01	HU02	HU03	HU04	HU05	HU06	HU07	HU08	HU09	HU10	HU11	HU12	HU13	HU14
2017	8	7	348022	432928	76	80	81	83	84	85	89	90	89	82	81	81	86	88	90
2017	8	8	348022	432928	67	69	67	74	76	93	93	92	88	88	87	87	91	71	69
2017	8	9	348022	432928	81	86	85	89	81	92	93	93	93	62	83	59	91	61	61
2017	8	10	348022	432928	77	90	78	70	74	71	71	81	73	64	68	72	70	65	63

Insolación

AÑO	MES	DIA	TOTSOL	PTJESOL	SOL07	SOL13	SOL18	SOL00
2017	8	7	0	0	0	0	0	0
2017	8	8	16	11	0	4	12	0
2017	8	9	93	65	0	38	48	7
2017	8	10	66	46	0	16	46	4

Precipitación

AÑO	MES	DIA	P77	P24	PINTMAX	PHINT	PH01	PH02	PH03	PH04	PH05	PH06	PH07	PH08	PH09	PH10	PH11	PH12	PH13
2017	8	7	182	44	72	2210	0	0	0	0	0	2	-3	0	0	0	0	0	0
2017	8	8	97	193	360	645	0	0	0	0	15	-3	125	3	0	0	46	0	1
2017	8	9	28	66	90	405	0	0	4	9	23	6	2	22	0	0	0	0	0
2017	8	10	0	6	24	40	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Presión

AÑO	MES	DIA	PRES00	PRES07	PRES13	PRES18	PRESMAX	HPRESMAX	PRESMIN	HPRESMIN
2017	8	7	10134	10101	10087	10094	10159	24	10087	99
2017	8	8	10116	10118	10139	10137	10139	13	10116	0
2017	8	9	10137	10138	10163	10171	10179	24	10133	2
2017	8	10	10179	10198	10206	10205	10207	23	10178	4

Temperatura

AÑO	MES	DIA	T00	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12	MAX	HTMAX	MIN	HTMIN
2017	8	7	190	188	181	184	186	189	186	185	190	198	206	209	209	214	1130	165	2210
2017	8	8	182	177	172	167	148	148	148	150	167	152	157	157	172	200	1230	148	9999
2017	8	9	160	159	159	158	168	149	147	144	148	178	164	175	185	193	9999	144	700
2017	8	10	167	161	181	180	180	179	179	168	183	190	191	190	192	204	1420	152	100

Viento

AÑO	MES	DIA	DIR_00	VEL_00	DIR_01	VEL_01	DIR_02	VEL_02	DIR_03	VEL_03	DIR_04	VEL_04	DIR_05	VEL_05	DIR_06	VEL_06	DIR_07	VEL_07
2017	8	7	15	7	14	7	14	6	13	8	12	7	17	4	13	9	18	7
2017	8	8	31	25	30	23	30	21	28	14	22	9	24	16	23	12	21	11
2017	8	9	23	14	23	14	21	14	27	18	28	20	27	20	26	17	23	16
2017	8	10	30	18	27	15	33	19	32	24	32	21	32	18	30	22	31	20

AÑO	MES	DIA	DIR_08	VEL_08	DIR_09	VEL_09	DIR_10	VEL_10	DIR_11	VEL_11	DIR_12	VEL_12	DIR_13	VEL_13	R_MAX_DIR	R_MAX_VEL	R_MAX_HOR	REC24	FR1C	FR2C	FR3C	FR4C	FR5C	FR6C
2017	8	7	19	6	21	2	31	5	31	9	31	12	31	11	32	51	1956	287	0	72	31	137	0	0
2017	8	8	28	26	29	28	28	24	26	25	26	20	26	25	30	54	1308	386	0	0	98	142	0	0
2017	8	9	24	22	31	22	31	18	30	23	31	21	32	23	33	53	435	459	0	0	32	208	0	0
2017	8	10	31	18	30	21	30	21	30	22	30	20	32	20	33	46	215	426	2	0	11	227	0	0